

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

“APLICACIÓN DE LA EVALUACIÓN TÉCNICO VISUAL DE LAS
ESTRUCTURAS ANTE FENÓMENOS NATURALES EN EL SECTOR BARRIO
DE SELVA ALEGRE DESDE LA CALLE RAMÓN GONZALES ARTIGAS
HASTA LA INTERSECCIÓN DE LAS CALLES JUAN DE SALINAS Y
ANTONIO CHECA”

JESSICA CRISTINA CASTRO VIDAL

ADRIÁN ORLANDO SERRANO FLORES

DIRECTOR DE LA DISERTACIÓN: ING. WILSON CANDO

QUITO, 2017

Resumen

Esta investigación presenta una evaluación técnica visual ante fenómenos naturales de las estructuras ubicadas en el sector del barrio de Selva Alegre específicamente a la zona comprendida entre las calles Ramón González Artigas, Francisco Guarderas, Antonio Checa y Juan de Salinas.

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción esta se encuentra definida como zona de peligro sísmico alto, es decir que la probabilidad de ocurrencia de sismos de magnitud importante es alta, de igual manera esta se encuentra amenazada también por los lahares que se producirían en caso de explotar el volcán Cotopaxi.

En la primera parte de la investigación encontramos el marco teórico sobre el que se sustenta la evaluación de las construcciones, se definen los conceptos más importantes y relevantes como lo son los sismos y lahares, como se producen y cuáles son sus posibles efectos sobre las edificaciones.

Luego se expone la metodología de investigación que se ha empleado, es decir se detalla cómo funcionan las fichas y se presenta el método probabilístico para la presentación de resultados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la evaluación y como paso final se tiene el capítulo de las conclusiones y recomendaciones que engloban a toda la investigación realizada.

Abstract

This research presents a visual technical evaluation of natural phenomena of the structures located in the area of Selva Alegre specifically to the one between Ramón González Artigas, Francisco Guarderas, Antonio Checa and Juan de Salinas streets.

According to the Norma Ecuatoriana de la Construcción, this is defined as a high Seismic zone, meaning that the probability of occurrence of earthquakes of significant magnitude is high, just as this is also threatened by the lahars that would occur in case of an eruption by the Cotopaxi volcano.

In the first part of the research we find a theoretical framework on which supports the evaluation of constructions, defining the most important and relevant concepts such as earthquakes and lahars, how they occur and what are their possible effects on the buildings.

Then the research methodology that has been used is presented, that is, it details how the evaluation sheets work and presents the probabilistic method for the presentation of results.

The results of the evaluation are presented below and as a final step the chapter has the conclusions and recommendations that cover all the research carried out.

Dedicatoria

Para nuestras familias, por ser nuestro pilar fundamental a las cuales nos honra pertenecer quienes siempre confiaron en nosotros, por su cariño, comprensión y apoyo incondicional.

A nuestros queridos profesores que durante todo el transcurso de nuestra carrera nos han sabido compartir sus sabios conocimientos, experiencias y comprensión.

Agradecemos a nuestros Director de tesis el Ingeniero Wilson Cando, por brindarnos su conocimiento y sabiduría. A nuestros correctores Ingeniero Juan Sebastián Baquero y Jorge Bucheli por ayudarnos en todo este arduo proceso de elaboración y aprendizaje en la elaboración de esta tesis.

A nuestro queridos compañeros con quienes se compartió buenos y malos momentos durante este proceso de aprendizaje y desarrollo.

Agradecimiento

A mi familia que siempre han estado junto a mí y me han apoyado en todo sentido de manera incondicional, por su cariño y comprensión.

A todos quienes me apoyaron a lo largo de mi carrera y en esta etapa final en especial a mis compañeros, amigos por su cariño incondicional.

A mis profesores que supieron guiarme de manera correcta durante toda mi carrera y que me brindaron su ayuda y conocimiento.

Tabla de contenidos

Resumen	1
Abstract.....	2
Dedicatoria.....	3
Agradecimiento	4
Tabla de contenidos	5
Índice de Tablas.....	9
Índice de Figuras	11
Introducción.....	14
Capítulo I.....	16
1. Generalidades	16
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2. Justificación	17
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Alcance	19
1.5. Metodología	20
Capítulo II.....	22
Marco teórico.....	22
2.1. Aspectos generales.....	22
2.1.1. Ubicación.....	23
2.2. Afectación de las estructuras producidas por sismos.....	23
2.2.1. Magnitud e intensidad de los sismos	23
2.2.2. Escala de Richter, magnitud local (ML).....	25

2.2.3.	Escala de magnitud de momento (MW)	25
2.2.4.	Intensidad (I).....	26
2.2.5.	Sismos producidos por placas tectónicas	27
2.2.6.	Determinación de la zona sísmica de acuerdo a la norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS 2015	28
2.2.7.	Determinación de la zona sísmica de acuerdo al FEMA P - 154	30
2.2.8.	Sismos producidos por el sistema de fallas de Quito	31
2.2.9.	Riesgo, peligro y vulnerabilidad sísmica.....	33
2.2.10.	Actualidad de los sismos en el Ecuador.....	36
2.2.11.	Sismos de mayor magnitud ocurridos en el Ecuador correspondientes a los años 2014, 2015 y 2016.....	39
2.2.12.	Sismicidad del barrio Selva Alegre.....	41
2.3.	Analizar el comportamiento del volcán Cotopaxi	44
2.3.1.	Antecedentes.....	47
2.3.2.	Reactivación del volcán.....	48
2.3.3.	Índice de explosividad (IEV).....	49
2.3.4.	Escenarios eruptivos	49
2.3.5.	Afectación de las estructuras por lahares ubicadas en el Barrio Selva Alegre	51
2.3.6.	Zona afectada por el lahar producido por la erupción del volcán Cotopaxi.	53
Capítulo III		55
Recopilación de información mediante fichas de evaluación		55
3.1.	Metodología de investigación	55
3.2.	Evaluación en campo	57
3.2.1.	Antes de la evaluación en campo	57
3.2.2.	Durante la evaluación de campo.....	58

3.3.	Análisis de datos y resultados	59
3.3.1.	Después de la evaluación de campo	59
3.4.	Fichas utilizadas para levantar información	60
3.4.1.	Ficha para evaluar las estructuras ante un sismo o un lahar	61
3.4.1.1.	Información de la identificación de la estructura.	62
3.4.1.2.	Características generales de la estructura.	63
3.4.1.3.	Fotografía de la estructura.....	65
3.4.1.4.	Bosquejo de la estructura y soporte fotográfico adicional.	66
3.4.1.5.	Ocupación de la estructura.	67
3.4.1.6.	Tipo de suelo.	70
3.4.1.7.	Peligros geológicos.	70
3.4.1.8.	Proximidad entre estructuras.....	71
3.4.1.9.	Irregularidades.....	73
3.4.1.10.	Peligro de caída de objetos exteriores.....	79
3.4.1.11.	Comentarios.	81
3.4.1.12.	Tipos de estructura y puntaje base.	81
3.4.1.13.	Inspecciones internas.....	84
3.4.1.14.	Determinación del puntaje de la estructura.	84
3.4.1.15.	Evaluaciones finales de las estructuras ante fenómenos naturales....	86
3.4.1.16.	Registrando la extensión de la revisión.....	88
3.4.1.17.	Otras amenazas.....	89
3.4.1.18.	Determinando la acción requerida.....	90
Capítulo IV	92
Resultados de las estructuras evaluadas mediante fichas	92
4.1.	Zona sísmica de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 y FEMA P – 154	92

4.2. Tipo de suelo.....	92
4.2.1. Ensayo SPT	92
4.3. Resultado de las fichas de evaluación.....	96
4.3.1. Clasificación de las estructuras de acuerdo al número de pisos, altura....	96
4.3.2. Afectación de las estructuras según los mapas de riesgos por lahares producidos por la erupción del volcán Cotopaxi en los años 2004, 2014 y 2017...	97
4.3.3. Clasificación de las estructuras de acuerdo al año de construcción	101
4.3.4. Clasificación de las estructura si presentan construcciones adicionales	102
4.3.5. Clasificación de las estructuras de acuerdo a su ocupación	103
4.3.6. Clasificación de las estructuras de acuerdo a la proximidad entre ellas.	104
4.3.7. Clasificación de las estructuras de acuerdo a las irregularidades que presentan.	106
4.3.8. Clasificación de las Estructuras que presentan Caída de Objetos Exteriores.	108
4.3.9. Clasificación de las estructuras que se poseen registro catastral.....	109
4.3.10. Clasificación de las estructuras de acuerdo al sistema estructural que poseen y sus materiales de construcción.	110
4.3.11. Clasificación de las estructuras de acuerdo al puntaje final de la evaluación	112
4.3.12. Extensión de la Revisión.....	113
4.3.13. Clasificación de las estructuras debido a la presencia de otras amenazas	113
4.3.14. Determinando la acción requerida y Evaluación de elementos no estructurales.....	114
4.3.15. Mapas de Riesgo de lahares producidos por una posible erupción del volcán Cotopaxi para toda la zona de Selva Alegre en los años 2004, 2014 y 2017..	115
Capítulo V	117

Conclusiones y recomendaciones	117
1.1 Conclusiones	117
1.2 Recomendaciones	123
Bibliografía.....	126
Anexos.....	131

Índice de Tablas

Tabla 1: <i>Valores del Factor Z en función de la zona Sísmica Adoptada</i>	29
Tabla 2: <i>Valor del Factor Z para la Zona de Sangolquí</i>	30
Tabla 3: <i>Respuesta de la Aceleración Espectral De Acuerdo al FEMA P-154</i>	30
Tabla 4: <i>Registro de Sismos Importantes en el 2016</i>	39
Tabla 5: <i>Registro de Sismos Importantes en el 2015</i>	40
Tabla 6: <i>Registro de Sismos Importantes en el 2016</i>	40
Tabla 7: <i>Sismos que sucedieron en zonas cerca de Selva Alegre</i>	43
Tabla 8: <i>Índice de Explosividad Volcánica del Cotopaxi</i>	49
Tabla 9: <i>Valores Correspondientes entre la NEC 2015 y FEMA P – 154 de la respuesta de Aceleración Espectral para determinar la Región Sísmica</i>	92
Tabla 10: <i>Resultado del Ensayo SPT</i>	93
Tabla 11: <i>Tipo del Perfil del suelo</i>	94
Tabla 12: <i>Coeficientes de Perfil de suelo Fa, Fd y Fs</i>	95
Tabla 13: <i>Clasificación de las Estructuras de acuerdo al número de pisos</i>	96
Tabla 14: <i>Estructuras Afectadas por lahares según mapa de riesgos 2004</i>	97
Tabla 15: <i>Estructuras por lahares según mapa de riesgos 2014</i>	99
Tabla 16: <i>Estructuras por lahares según mapa de riesgos 2017</i>	100
Tabla 17: <i>Clasificación de las Estructuras dependiendo del año en que se construyeron y porcentaje de aquellas que se construyeron a partir del año 2001</i>	101

Tabla 18: <i>Estructuras que presentan Construcciones Adicionales</i>	102
Tabla 19: <i>Clasificación de las estructuras de acuerdo al número de pisos adicionales construidos</i>	103
Tabla 20: <i>Clasificación de las estructuras de acuerdo a su ocupación</i>	103
Tabla 21: <i>Estructuras que presentan un posible Golpeteo y Caída de elementos de una estructura más alta</i>	104
Tabla 22: <i>Estructuras que presentan Irregularidades tanto en planta como en elevación</i>	106
Tabla 23: <i>Estructuras que presentan irregularidades en Planta</i>	107
Tabla 24: <i>Estructuras que presentan irregularidades en Elevación</i>	107
Tabla 25: <i>Estructuras que presentan caída de objetos exteriores</i>	108
Tabla 26: <i>Estructuras que presentan registro Catastral</i>	109
Tabla 27: <i>Clasificación de las estructuras según su Sistema Estructural</i>	110
Tabla 28: <i>Clasificación de las Estructuras de Acuerdo a las Materiales de Construcción Empleados.</i>	111
Tabla 29: <i>Clasificación de las estructuras de acuerdo al puntaje al final de la evaluación</i>	112
Tabla 30: <i>Extensión de la revisión realizada a las estructuras</i>	113
Tabla 31: <i>Clasificación de las Estructuras debido a la presencia de otras amenazas .</i>	113
Tabla 32: <i>Determinar Acción requerida</i>	114
Tabla 33: <i>Evaluar Elementos no estructurales</i>	114

Índice de Figuras

<i>Figura 1:</i> Ubicación de la Zona de Estudio	15
<i>Figura 2:</i> Escala de Intensidades de Mercalli	27
<i>Figura 3:</i> Zonas sísmicas del Ecuador	28
<i>Figura 4:</i> Sistema de fallas de Quito.....	33
<i>Figura 5:</i> Localización del sismo principal y sus réplicas en el sector de Guayllabamba ocurrido el 12 de Agosto 2014).	38
<i>Figura 6:</i> En rojo, el volcán Cotopaxi se encuentra en proceso de erupción.....	46
<i>Figura 7:</i> Escenario 3 de la posible erupción del volcán Cotopaxi.....	51
<i>Figura 8:</i> Zona Afectada por el lahar producido por el volcán Cotopaxi	54
<i>Figura 9:</i> Zona de Estudio en el Sector de Selva Alegre	55
<i>Figura 10:</i> Información para identificar a la Estructura.....	62
<i>Figura 11:</i> Respuesta de la Aceleración Espectral Ss y S1 que determinan la Región Sísmica	63
<i>Figura 12:</i> Características Generales de la Estructura	63
<i>Figura 13:</i> Fotografía de la estructura evaluada	66
<i>Figura 14:</i> Bosquejo de la estructura y soporte fotográfico adicional	67
<i>Figura 15:</i> Ocupación de la Estructura	67
<i>Figura 16:</i> Tipología del Suelo	70
<i>Figura 17:</i> Amenazas Geológicas	70
<i>Figura 18:</i> Proximidad entre las estructuras	71
<i>Figura 19:</i> Condiciones para que exista Golpeteo	72
<i>Figura 20:</i> Condiciones para que exista Golpeteo	72
<i>Figura 21:</i> Condiciones para que exista Golpeteo	73
<i>Figura 22:</i> Irregularidades de las estructuras	73

<i>Figura 23: Irregularidad dada por ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 24: Irregularidad dada por discontinuidad en la resistencia.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 25: Irregularidad dada por Columna Corta</i>	<i>75</i>
<i>Figura 26: Irregularidad dada por piso Flexible</i>	<i>76</i>
<i>Figura 27: Irregularidad dada por distribución de masa.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 28: Irregularidad Geométrica</i>	<i>77</i>
<i>Figura 29: Retrocesos Excesivos en las Esquinas</i>	<i>78</i>
<i>Figura 30: Discontinuidades en el sistema de piso</i>	<i>78</i>
<i>Figura 31: Ejes Estructurales no paralelos</i>	<i>79</i>
<i>Figura 32: Peligro de caída de objetos exteriores.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 33: Sección de Comentarios.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 34: Extensión de la Revisión.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 35: Otras Amenazas (Ficha).....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 36: Determinar la Acción Requerida.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 37: Localización del Ensayo SPT con respecto a la Zona de Estudio</i>	<i>93</i>
<i>Figura 38: Fotos de la realización del Ensayo SPT en la Zona de Estudio</i>	<i>93</i>
<i>Figura 39: Fotos de los ensayos en laboratorio de las muestras recuperadas del SPT ..</i>	<i>94</i>
<i>Figura 40: Fotos de las muestras recuperadas del ensayo SPT</i>	<i>95</i>
<i>Figura 41: Porcentajes de las estructuras que presentan de uno a cuatro pisos.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 42: Mapa de Riesgos de lahares del año 2004 en la zona de Selva Alegre.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 43: Porcentajes de estructuras afectadas por lahares según mapa de riesgos 2004</i>	<i>98</i>
<i>Figura 44: Mapa de Riesgos de lahares del año 2014 en la zona de Selva Alegre.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 45: Mapa de Riesgos de lahares del año 2017 en la zona de Selva Alegre.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 46: Superposición de Mapas de Riesgos de lahares de los años 2004, 2014 y 2017 en la zona de Selva Alegre.</i>	<i>100</i>

<i>Figura 47: Clasificación en porcentaje de las estructuras según su año de construcción</i>	101
<i>Figura 48: Porcentajes de las estructuras que presentan construcciones adicionales frente a las que no lo hacen.</i>	102
<i>Figura 49: Porcentajes de las estructuras que presentan la construcción de 1 y 2 pisos adicionales</i>	103
<i>Figura 50: Porcentajes de las estructuras de acuerdo a su ocupación.....</i>	104
<i>Figura 51: Porcentaje de las estructuras que presentan golpeteo</i>	105
<i>Figura 52: Porcentaje de las estructuras que presentan caída de elementos de estructuras más altas.</i>	105
<i>Figura 53: Porcentaje de estructuras que presentan irregularidades.....</i>	106
<i>Figura 54: Porcentaje de las estructuras que presentan irregularidades en su configuración estructural.</i>	107
<i>Figura 55: Porcentaje de las estructuras que presentan caída de objetos exteriores frente a aquellas que no.....</i>	108
<i>Figura 56: Porcentaje de estructuras que presentan catastro frente a aquellas que no lo tienen.</i>	109
<i>Figura 57: Porcentaje de las estructuras de acuerdo a su sistema estructural.....</i>	110
<i>Figura 58: Porcentajes de las estructuras de acuerdo a su material de construcción...</i>	111
<i>Figura 59: Porcentaje de las estructuras que no superaron el puntaje límite igual a 2.</i>	112
<i>Figura 60: Mapas de Riesgos por lahares para toda la zona de Selva Alegre en los años 2004, 2014 y 2017.</i>	115

Introducción

El objetivo de esta investigación es determinar el riesgo de aquellas estructuras ubicadas en el sector de Selva Alegre en el Cantón de Rumiñahui y sus posibles afectaciones ante posibles desastres naturales mediante una evaluación técnica visual, para esto se proponen dos posibles escenarios.

Uno de ellos es la ocurrencia de un posible sismo y que dependiendo del tipo de sistema estructural, materiales de construcción entre otros factores determinar la vulnerabilidad ante este tipo de eventos. El otro es cuando las estructuras se vean afectadas por una posible erupción del Cotopaxi cuyo efecto más relevante es la inundación por la presencia de lahares que atraviesan la zona de análisis.

Se proponen estos posibles escenarios debido a que por un lado existe una reactivación por parte del volcán Cotopaxi y por otro que el Ecuador pertenece a una zona de alto riesgo sísmico, es decir que eventualmente alguno de los dos escenarios ocurrirá.

Las estructuras existentes pertenecientes a la zona de estudio se evaluarán por medio de fichas, las cuales detallarán información necesaria para determinar su afectación ante los eventos antes mencionados, estas se encuentran propuestas por el FEMA P-154 (2015) en su manual denominado: “RAPID VISUAL SCREENING OF BUILDINGS FOR POTENTIAL SEISMIC HAZARDS: A HANDBOOK”.

También se utilizó la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015); en su capítulo de Riesgo Sísmico, en el cuál se mencionan las diferentes irregularidades en planta y elevación que pueden presentar las estructuras además de caracterizar al sector dentro del peligro sísmico alto.

La información más importante recopilada para este estudio consiste en el número de piso, la altura, los materiales que se emplearon, el año de construcción, el uso que se le da a la estructura, el tipo de suelo, si existen construcciones adicionales a la estructura principal además de que si presentan algún tipo de falla que intervenga en la vulnerabilidad de la estructura así como también de elementos no estructurales que puedan desprenderse y constituir un peligro.

La zona que se evalúa es la misma en el caso de producirse un sismo, o que ocurriese una inundación por efecto de los lahares. Es por eso que las estructuras evaluadas son las mismas y de ellas se determinan el riesgo y la afectación que pueden llegar a tener ante estos eventos. Esta se encuentra delimitada por las calles Antonio Checa, Francisco Guarderas, Ramón Gonzales Artigas y la Avenida Juan Salinas, la cual se conforma por cuatro manzanas que contienen 180 predios dentro los cuales se han evaluado 255 construcciones.



Figura 1: Ubicación de la Zona de Estudio
Fuente: (Google Earth, 2016)

Capítulo I

1. Generalidades

1.1. Planteamiento del problema

A lo largo de la historia del Ecuador se han registrado sismos de gran importancia algunos de ellos con consecuencias devastadoras, hay varias razones por las que se da este resultado, entre ellas la principal es una falta de control en el proceso constructivo que empieza por los estudios preliminares, el diseño y que terminan en la propia construcción de la obra, hoy el panorama no es diferente, si bien en las principales ciudades existe una supervisión más rigurosa en el resto del país el seguimiento de normas, regulaciones, procesos es muy escaso y en algunos casos prácticamente inexistente.

El barrio Selva Alegre se encuentra ubicado en una zona que de acuerdo a la NEC (MIDUVI, 2015) se ha determinado que es de peligro sísmico alto por lo que existe una probabilidad muy alta de que ocurra este tipo de eventos, además en los recientes años se han suscitado movimientos de este tipo que han afectado de manera importante a las estructuras y a la vida de las personas.

Pero no solamente los sismos afectan a este sector, existe otra amenaza latente para estas estructuras y es la posibilidad de que suceda una erupción por parte del volcán Cotopaxi siendo el principal problema los lahares productos de ella, ya que esta zona se encuentra, según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN, 2016), en su trayectoria.

Es por esto que existe la necesidad de evaluar estas estructuras de una manera técnica visual y determinar cuáles de ellas son vulnerables ante cualquiera de estos dos

fenómenos naturales, para ello se realizó un levantamiento de información en campo a través de fichas de evaluación que posteriormente son analizadas.

El sector que se analiza en esta investigación es aquel comprendido entre las calles Ramón González Artigas, Francisco Guarderas, Antonio Checa y Juan de Salinas que se compone actualmente de cuatro manzanas.

El objetivo principal es determinar si las estructuras evaluadas constituyen un riesgo tanto para las personas como para construcciones adyacentes que puedan verse afectadas.

1.2. Justificación

Esta evaluación se realizó debido a que en el pasado han ocurrido fenómenos naturales tales como sismos y lahares, solo en el año 2016 se han producido sismos de gran magnitud que han afectado significativamente las estructuras o el lahar producido en el año 1877 que han provocado mucho daño tanto a las construcciones como a las personas, y que actualmente pueden volver a suceder con el agravante que ahora el sector en cuestión se encuentra más poblado que en ese entonces y que existe una gran deficiencia en el control de los procesos constructivos (IGEPN, 2016).

Esto lleva a querer evaluar estas estructuras y determinar las razones por las cuales representan o no una posible amenaza para las personas, para las estructuras adyacentes y para ellas mismas.

En recientes años se han producido sismos de gran relevancia y de magnitudes importantes y se ha observado los efectos devastadores que pueden causar afectando de gran manera la vida de las personas, uno de ellos se suscitó en el mes de abril del 2016 provocando el colapso total de muchas viviendas y edificaciones y dejando a otras en

muy mal estado. El barrio de Selva Alegre puede ser afectado de igual manera y es por eso que esta evaluación es necesaria, esta comprende características muy importantes a tomar en cuenta, para empezar la obtención de información se realiza en campo por lo que se puede eliminar en gran medida la incertidumbre de ciertos aspectos como los materiales de construcción, el sistema estructural resistente, su altura entre otros.

El hecho de que sea realizado mediante fichas de evaluación representa una gran ventaja ya que es una forma de conseguir información a bajo costo, de manera rápida y que además se basa un criterio técnico.

Estas se encuentran propuestas por la Agencia Federal para Manejo de Emergencias de los Estados Unidos en su manual denominado: Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazard: A Handbook (FEMA, 2015) y son usadas para este tipo de evaluación, por lo que su uso en este caso particular es adecuado ya que son aplicables debido a que la NEC toma como referencia a este documento.

Esta evaluación está dirigida a realizar un análisis dependiendo de las cualidades, componentes y particularidades que presentan cada estructura del sector y la susceptibilidad de que sufran daños debido a un sismo o un lahar y de esta forma poder clasificarlas y recomendar las acciones necesarias a seguir en caso de presentarse alguno de los sucesos antes mencionados.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar mediante una evaluación técnico visual que estructuras son susceptibles a sufrir daños en el sector del barrio de Selva Alegre debido a los fenómenos naturales, sean estos sismos o lahares, y que representan un riesgo para las personas y construcciones próximas a ellas.

1.3.2. Objetivos específicos

Realizar un análisis comparativo entre los antecedentes históricos y la situación actual del barrio de Selva Alegre en referencia a los sismos que se han producido al igual que la afectación por lahares.

Determinar las principales causas por las cuáles las estructuras en este sector representan un riesgo ante estos fenómenos naturales.

Analizar los resultados obtenidos y clasificar a las estructuras de acuerdo al riesgo que presentan cada una de ellas.

1.4. Alcance

El alcance de esta investigación se encuentra conformado por: un análisis de las estructuras que se ubican en el barrio de Selva Alegre del cantón Rumiñahui específicamente aquellas que se encuentran entre las calles Ramón González Artigas, Francisco Guarderas, Antonio Checa y Juan de Salinas, en él se establece todas las particularidades relevantes que presentan con el fin de poder clasificarlas y determinar su riesgo.

Se utiliza la metodología probabilística debido a que es la que mejor que se adapta a esta situación ya que al ser una evaluación técnica visual la información no siempre se encuentra completa.

Esta evaluación comprende una primera aproximación para determinar aquellas estructuras que necesitan de un análisis más profundo.

También se determinan las características principales del entorno en el que se encuentran ubicadas las estructuras siendo el suelo sobre el cuál se cimientan una de ellas y la otra el cauce del río Santa Clara que se encuentra próximo a la zona analizada porque son factores que inciden directamente en su riesgo.

Cabe destacar también que es importante tomar en cuenta las acciones necesarias recomendadas una vez determinada la vulnerabilidad de las estructuras.

1.5. Metodología

La metodología es aplicada a toda la investigación aquí presente se compone de diversas partes. Una de ellas consiste en el método deductivo, es decir que se empieza por conceptos generales tales como los fenómenos naturales, componentes estructurarles de una construcción, normas generales de construcción, control, poder determinar las particularidades como es la de precisar que estructuras son vulnerables en el caso de que ocurriera un sismo o un lahar.

También se ha hecho uso de otros métodos que se encargan de obtener la información necesaria y que son pilar fundamental de este trabajo, estos son el método descriptivo y de observación, ambos tienen su utilidad en campo, es decir en observar las estructuras, determinar sus características y particularidades.

También se emplea el método histórico, que consiste en analizar las fuentes bibliográficas e información relacionada sobre eventos similares ocurridos en el pasado

para tener una mejor visión y entendimiento de lo que podría suceder en caso de que se produzca un fenómeno natural como lo es un sismo o un lahar.

Si bien todos estos métodos son utilizados se deja constancia que en el presente trabajo no se encuentra el detalle de su empleo.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Aspectos generales

En la historia del Ecuador se han registrado fenómenos naturales de distinta índole como sismos, erupciones de volcanes que son aquellos analizados en el presente trabajo y que tienen un impacto devastador en las personas, estos eventos son inevitables y pueden ocurrir en cualquier momento sin embargo sus efectos si pueden ser mitigados de alguna manera.

El sector del Barrio de Selva Alegre, objeto de esta investigación, no está exento de sufrir las consecuencias y de los efectos devastadores por parte de estos fenómenos naturales debido a que se encuentra en una zona en donde la probabilidad de ocurrencia de alguno de los fenómenos naturales es muy alta, por ejemplo el volcán Cotopaxi se reactivó en el año 2015 y se espera que haga erupción en algún momento próximo produciendo lahares que provoquen inundaciones en las construcciones analizadas, en tanto que en el transcurso del año 2016 se han registrado movimientos telúricos que ya han impactado de manera negativa y se prevé que en algún momento puedan volver a ocurrir de una magnitud importante (IGEPN, 2016).

Actualmente es una zona poblada, en ella se encuentran escuelas, negocios, parques, iglesias, viviendas, edificaciones, etc. En el pasado este sector se componía en su mayoría de haciendas y espacios libres sin construir, y aunque no se encontraba tan poblada como ahora cuando ocurrieron estos fenómenos naturales hubo mucha destrucción llegando a producirse pérdida de viviendas, negocios y lo que es peor pérdidas humanas. Se tiene registro de estos eventos, se conoce sus efectos y

consecuencias pero a pesar de esto través de los años se ha seguido construyendo en esta zona y en ciertos casos con poco o ningún control.

2.1.1. Ubicación

La zona analizada es aquella comprendida entre las calles Ramón González Artigas, Francisco Guarderas, Antonio Checa y Juan de Salinas, se compone de 4 manzanas en las cuáles existen 180 predios dentro de los cuáles se evaluarán 255 estructuras en total.

Los fenómenos naturales que se analizan son dos: la producción de un sismo y los lahares que provienen de la erupción del volcán Cotopaxi. La ubicación de esta zona la hace susceptible a sufrir eventualmente alguno de ellos.

La ubicación del río Santa Clara es importante debido a que en el caso de que se produzcan lahares el flujo proveniente del Volcán Cotopaxi tomará su cauce conduciéndolo hacia el barrio de Selva Alegre afectando a las estructuras que se encuentren tanto en su paso como aquellas cercanas a él (IGEPN, 2016).

Estas estructuras también se ubican de acuerdo a la NEC (MIDUVI, 2015) en una zona de peligro sísmico alto por lo que pueden estar afectadas gravemente por este tipo de fenómenos naturales, actualmente se siguen registrando sismos en esta zona algunos de ellos producto de las fallas geológicas ubicadas debajo de la ciudad de Quito.

2.2. Afectación de las estructuras producidas por sismos

2.2.1. Magnitud e intensidad de los sismos

Los sismos son movimientos de la corteza terrestre que se producen por la liberación de energía de las placas tectónicas o de fallas en el terreno (Caballero, 2013).

Estos movimientos provocan daños en las estructuras e incluso llegan a producir fallecimientos de personas dependiendo de la magnitud con la que se produjo, es por eso que se ha tratado de caracterizar los sismos dándoles una escala que permita entender cuanta energía sísmica ha sido liberada durante este tipo de eventos, es así que en el pasado se propuso la denominada escala de Richter también conocida como Magnitud Local.

Esta manera de caracterizar un sismo es objetiva, es decir que la magnitud de un sismo siempre será la misma en cualquier parte del mundo, pero no así sus efectos debido principalmente a su localización, estos pueden ser desde leves hasta llegar a ser devastadores, esto es porque los sismos pueden ocurrir en lugares en donde no existen asentamientos o construcciones y por lo tanto su afectación sería mínima por otro lado los efectos sobre las estructuras dependen también de su vulnerabilidad y de cómo se encuentra conformada.

Históricamente se podía determinar los efectos de un sismo basado en el daño provocado a las estructuras, al número de personas heridas o fallecidas, estos efectos eran medidos en una escala denominada Intensidad de Mercalli, sin embargo esta es subjetiva ya que depende de una interpretación personal del evento y no de la magnitud real del sismo (Moreno, 2013).

Otro punto importante cuando ocurre un sismo es la profundidad a la que se produjo, ya que de ella dependerá básicamente el área en la que influyó el movimiento, por ejemplo si la profundidad de un sismo es pequeña los efectos serán grandes daños a las estructuras pero focalizados en un área local relativamente pequeña, si por el contrario la profundidad es mucho mayor el movimiento se podrá sentir en zonas alejadas al epicentro pero sus efectos no serán tan graves (Caballero, 2013).

En la actualidad se emplea una escala logarítmica basada en la de Richter para medir la magnitud de un sismo denominada Magnitud de Momento M_w y que sirve para todos los tipos de sismos sean estos de gran magnitud o no (Morais, 2014).

Si bien mucha de las veces que se habla de la magnitud de un sismo se dice que se encuentra en la escala de Richter, esta no es la que se emplea realmente para poder determinarla, es la Magnitud de Momento M_w la que se usa prácticamente a nivel mundial.

Es por eso que todas las magnitudes presentes en este trabajo se encuentran en esta escala y no en la de Richter.

2.2.2. Escala de Richter, magnitud local (ML)

Esta es una escala logarítmica, fue propuesta por Charles F. Richter en 1935, sirvió para calcular las magnitudes de los sismos y fue empleada en diversas partes del mundo, pero a pesar de que es objetiva, cayó en desuso debido principalmente a sus limitaciones ya que no podía registrar sismos de magnitudes mayores a 7 ni tampoco aquellos sismos de muy baja magnitud de 1 o 2 grados, sus respuestas dejaron de ser confiables y se buscó una escala que pudiera entregar resultados más precisos (Nava, 2002).

2.2.3. Escala de magnitud de momento (MW)

Esta es la escala más confiable para determinar la magnitud de un sismo ya que analiza la amplitud de las ondas y su frecuencia, especialmente aquellos de grandes magnitudes pero que tampoco discrimina aquellos de baja magnitud, lo que no ocurre con la escala de Richter, es por esto que es usada por las instituciones dedicadas a la detección de sismo alrededor del mundo (Hanks & Kanamori, 1979).

Al igual que la escala de Richter esta es logarítmica lo que supone una gran diferencia entre los grados de la magnitud de un sismo. Esto es importante ya que la diferencia puede ser entre un escenario moderado o uno devastador.

Cuando ocurre un sismo es frecuente emplear el término de la magnitud en escala de Richter, pese a que ésta ha caído en desuso, sin embargo cuando se detecta un sismo en la actualidad se emplea la escala de magnitud de momento, que es aquella que califica y caracteriza al movimiento telúrico realmente.

2.2.4. Intensidad (I)

La intensidad de un sismo mide los efectos que causa a las zonas en donde se produce, es una medida muy subjetiva ya que involucra la percepción personal del evento, por lo general una mayor intensidad es ubicada cerca de donde se produce el sismo en tanto una menor será registradas en zonas alejadas al evento (Nava, 2002).

La escala de Mercalli (MM) contiene doce grados en los cuáles se definen a un sismo dependiendo del peligro y del daño que causó a las estructuras, personas, etc. Siendo el grado I aquel que se detecta solo mediante instrumentos hasta el grado XII el cual corresponde a una destrucción y devastación total en donde ocurrió el movimiento telúrico (Gutenberg & Richter, 1956).

Esta escala es utilizada en aquellos casos en los cuáles registrar un sismo y clasificarlo no era posible debido a que no se tenían los medios necesarios para ello, como son aquellos eventos ocurridos en tiempos anteriores a la creación de la escala de Richter.

Escala De Intensidades De Mercalli Modificada	
Grado	Descripción
I	No es sentido, registrado solo por sismógrafos.
II	Sentido en edificaciones altas o lugares que favorecen su percepción.
III	Sentido en el interior de las habitaciones, similar al paso de un camión.
IV	Los objetos colgantes se balancean, similar al paso de varios camiones.
V	Es sentido fuera de las casas, movimientos de objetos que antes estaban en reposo.
VI	Sentido por todos, las personas se asustan y salen corriendo, existe agrietamientos en las paredes.
VII	Existen daños a las construcciones, paredes agrietadas, deslizamientos de tierra.
VIII	Daño en las construcciones, colapso parcial de edificaciones.
IX	Pánico general, la mayoría de las construcciones colapsan o quedan severamente dañadas.
X	Construcciones bien diseñadas como puentes o edificios caen, existen daños en las presas, diques y terraplenes.
XI	Las tuberías quedan totalmente fuera de servicio, rieles de los trenes doblados completamente.
XII	La destrucción es casi total, grandes masas de rocas son desplazadas, las líneas de nivel quedan distorsionadas.

Figura 2: Escala de Intensidades de Mercalli

Fuente: (UCR, 2014)

2.2.5. Sismos producidos por placas tectónicas

Ecuador es un país que se encuentra ubicado dentro de la zona de alto riesgo sísmico debido a que se encuentra dentro del denominado cinturón de fuego.

El cinturón de fuego es un área conformada por placas tectónicas, estas son segmentos de corteza terrestre que se mueven generando fricción entre ellas, para el caso del Ecuador las placas Sudamericana (placa continental) y la de Nazca (placa oceánica) son aquellas que se encuentran en contacto provocando fuertes movimientos telúricos (Rosenberg, 2004).

El contacto que se produce es de subducción, es decir que la placa de Nazca se desliza por debajo de la placa Sudamericana generando fricción entre ellas, esta acumula energía que debe ser liberada, y que cuando esto sucede se producen movimientos o sacudidas en la tierra denominada sismos (Rosales, 2012).

Estos movimientos son inevitables y continuarán sucediendo ya que esta fricción y el contacto entre las placas son constantes, algunos de los sismos registrados atribuidos a estas placas tectónicas han sido de mucha intensidad y llegando a magnitudes importantes con efectos devastadores para las estructuras y para las personas.

Si bien cuando sucede un sismo de gran magnitud sus consecuencias en muchos casos son devastadoras es importante señalar también que las réplicas posteriores a él también pueden provocar daños a pesar de ser de menor magnitud que el sismo principal.

2.2.6. Determinación de la zona sísmica de acuerdo a la norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS 2015

De acuerdo a la NEC (MIDUVI, 2015) se ha clasificado al Ecuador en diferentes zonas de riesgo sísmico, las cuales se pueden observar en el siguiente gráfico:

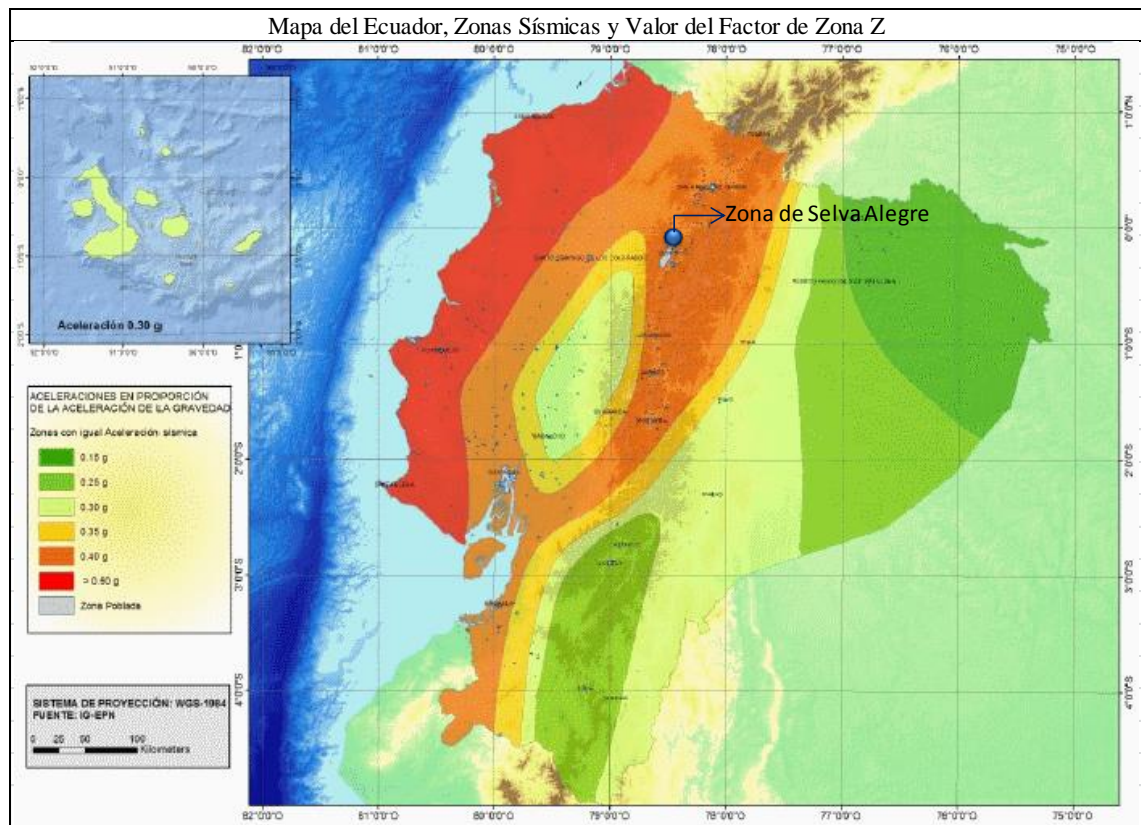


Figura 3: Zonas sísmicas del Ecuador

Fuente: (MIDUVI, 2015, p. 28)

En el vemos que las zonas de la Costa y Sierra son consideradas de peligro sísmico alto, en tanto que la región amazónica es de peligro bajo o intermedio.

De acuerdo con el mapa de zonificación de peligro sísmico podemos observar que el Barrio Selva Alegre se encuentra ubicado en la Zona V cuya caracterización del peligro sísmico es alta, esto quiere decir que pueden ocurrir sismos importantes llegando a afectar a la zona gravemente.

Este sector puede verse afectado también por movimientos telúricos provocados por las placas tectónicas cuyo epicentro puede encontrarse alejado de esta zona, un ejemplo de esto es el sismo ocurrido el 16 de abril del 2016 y que llegó a percibirse y provocar daños leves en este lugar.

Cabe señalar también que actualmente es una zona poblada en donde existen estructuras como casas, edificios, viviendas, escuelas, entre otros y que de suceder un sismo de magnitud importante las consecuencias para ellas serían devastadoras, a continuación podemos observar una tabla con las diferentes caracterizaciones del peligro sísmico de las diferentes zonas sísmicas del Ecuador.

Tabla 1: *Valores del Factor Z en función de la zona Sísmica Adoptada*

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.50
Caracterización del Peligro Sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Nota. El Valor de Factor Z es 0.4 para la zona correspondiente al estudio cuya caracterización del peligro sísmico se determina como Alta. Fuente: (MIDUVI, 2015, p. 28)

En el cuadro anterior se encuentra el valor del factor Z, que de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño en proporción de la aceleración de la gravedad, es un indicativo también de que la zona de Selva Alegre es de peligro sísmico alto. La norma también

proporciona zonas particulares con sus respectivos valores de Z como en el siguiente cuadro:

Tabla 2: *Valor del Factor Z para la Zona de Sangolquí*

Población	Parroquia	Cantón	Provincia	Z
Sangolquí	Sangolquí	Rumiñahui	Pichincha	0.4

Fuente: (MIDUVI, 2015, p. 28)

2.2.7. Determinación de la zona sísmica de acuerdo al FEMA P - 154

En esta investigación se ha empleado a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC como referencia, sin embargo se han utilizado otros documentos también para determinar la zona sísmica, tal es el caso de la FEMA P – 154.

Se ha podido emplear este documento debido a que en la NEC se hace referencia a él y se emplea para evaluar las estructuras de una manera técnica y visual.

La evaluación de las estructuras se hace por medio de fichas, estas se encuentran propuestas por el FEMA (2015) y se clasifican de acuerdo a las diferentes zonas sísmicas y que de acuerdo a ellas se deberá escoger con cuáles trabajar.

Se ha determinado trabajar con aquella ficha correspondiente a una zona sísmica alta.

Como se observa en el siguiente cuadro que se encuentra en la FEMA P – 154, la región sísmica alta corresponde a una respuesta de aceleración espectral S1 de 0.4 g, y si se observa el valor del factor Z para Selva Alegre es de 0.4 g propuesta por la NEC se puede determinar que ambos pertenecen a una zona de peligrosidad sísmica alta

Tabla 3: *Respuesta de la Aceleración Espectral De Acuerdo al FEMA P-154*

Región Sísmica	Respuesta de la Aceleración Espectral, S _s (Periodo Corto ó 0.2 Segundos)	Respuesta de la Aceleración Espectral, S ₁ (Periodo Largo ó 1.0 Segundos)
Bajo	Menos de 0.250 g	Menos de 0.100 g
Moderado	Igual o mayor a 0.250 g pero menos de 0.500 g	Igual o mayor a 0.100 g pero menos de 0.200 g
Moderadamente Alto	Igual o mayor a 0.500 g pero menos de 1.000 g	Igual o mayor a 0.200 g pero menos de 0.400 g
Alto	Igual o mayor a 1.000 g pero menos de 1.500 g	Igual o mayor a 0.400 g pero menos de 0.600 g
Muy Alto	Mayor ó igual a 1.500 g	Mayor ó igual a 0.600 g

Nota. Respuesta de Aceleración Espectral igual a 0.4 g corresponde a una Región Sísmica Alta que es igual al valor del factor Z propuesto en la NEC-SE-DS. Fuente: (FEMA, 2015, p. 62).

Es por esta razón que se ha empleado el uso de la ficha que corresponde a región sísmica alta. En esta se muestran estos dos valores de SS igual a 1.000 g y S1 igual a 0.400 g, ambos se encuentran definidos ya en la evaluación.

2.2.8. Sismos producidos por el sistema de fallas de Quito

La zona de Selva Alegre puede ser susceptible a los sismos producido por la subducción de las placas de Nazca y Sudamericana, sin embargo también le pueden afectar aquellos producidos por el sistema de fallas de Quito (IGEPN, 2016).

Esta falla se crea a partir de las fuerzas generadas por las placas de Nazca y Sudamérica que provocan la fracturación de las rocas en el interior de la corteza terrestre, provocando movimientos telúricos.

A este tipo de fallas se las denomina inversas, es decir que debido a las fuerzas de compresión uno de los bloques de corteza sobre el que se asienta la ciudad se eleva con respecto al del de los valles contrario a la fuerza de gravedad siendo este movimiento el que genera los sismos.

Este sistema tiene aproximadamente una longitud de 60 km, contiene varias ramificaciones y sobre ella se encuentra la ciudad de Quito. Inician en el sector de

Tambillo y recorren en dirección norte por las lomas de Puengasí, Lumbisí, Bellavista y Catequilla, esta fractura provoca que la zona de la ciudad se levante por sobre los valles de Tumbaco y de los Chillos.

Los sismos que se crean a partir de esta falla afectan de manera directa a los valles incluyendo el sector de Selva Alegre, razón por la cual se la debe tener en cuenta.

De acuerdo al IGEPN (2016) a este sistemas de fallas se le atribuyen varios sismos entre ellos se encuentran el sismo del 9 de Agosto de 1938 cuya magnitud fue de 7.1 y que provocó severos daños en las zonas del valle de los Chillos, especialmente Alangasí, Sangolquí y el Tingo.

Durante el curso del año 2015 y 2016 han ocurrido sismos productos de esta falla por lo que es de esperar que en un futuro se produzcan nuevos movimientos que afecten a las estructuras ubicadas en el sector de Selva Alegre.

En la actualidad se han registrado daños en las estructuras y personas fallecidas debido a los sismos producidos por esta falla, uno de ellos ocurrió el 12 de agosto del 2014 con una magnitud de 5.1 que puso en alerta a la ciudad y sus alrededores ya que provoco deslizamientos de tierra, 4 muertos y al menos 10 personas heridas (El Comercio, 2014). También se registró un sismo más recientes que tuvo una magnitud de 3.7 en la escala de Magnitud de Momento MW y que ocurrió el 8 de Agosto del 2016 provocando fisuras en las paredes, pero que sin embargo no representó ninguna amenaza para la población en general (El Comercio, 2016).

Se espera que en algún momento ocurra un sismo de magnitud igual a 7 o incluso mayor (IGEPN, 2016); por esto los movimientos ocurridos en el último par de años son

un recordatorio de lo que eventualmente puede llegar a suceder y cuya principal afectación se observaría en las estructuras pero sobre todo en las vidas de las personas.



Figura 4: Sistema de fallas de Quito

Fuente: (La Hora, 2010)

2.2.9. Riesgo, peligro y vulnerabilidad sísmica

Al estudiar la historia de los sismos se obtienen resultados importantes, y es que si bien la magnitud, la aceleración, la intensidad son importantes su localización del epicentro en el terreno lo es también, se ha observado que se han dado sismos que producen daños devastadores como un gran número de pérdidas humanas y destrucción total de edificaciones y estructuras y que sin embargo su magnitud no fue tan alta pero que su epicentro se localiza cerca de una zona densamente poblada produce estos resultados.

Para realizar una evaluación de riesgo sísmico de las estructuras sean estas casas, edificios u otros es necesario entender que el primer paso es valorar el peligro sísmico en combinación con la vulnerabilidad sísmica. Por lo que es importante entender que si

bien estos conceptos están íntimamente relacionados entre sí tienen definiciones diferentes y no se los debe confundir.

Mientras que a la peligrosidad sísmica se la define como la probabilidad de que se genere un sismo de una magnitud e importancia determinada, en un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica (Varnez, 1984).

A la vulnerabilidad se la caracteriza tomando en cuenta diversos factores que corresponden la estructura como la edad de la construcción, el uso del suelo, los materiales, su sistema resistente sísmico, la técnica de construcción, etc (Barbat, Mena, & Yépez, 1998).

Una combinación de estos factores puede ser la de un alto valor de peligro sísmico, es decir que se produzca un sismo de gran intensidad y magnitud y que sin embargo puede generar un riesgo sísmico muy bajo si este ocurriera en una zona no muy poblada, por lo que los daños serían mínimos.

Aunque por otro lado se podría tener sismos moderados, pero ubicados en zonas densamente pobladas con construcciones deficientes, que aumentarían el riesgo sísmico.

Un ejemplo de estos es el sismo producido en Marruecos el 29 de febrero de 1960 cuya magnitud se estimó en 5.7 y que dejó la ciudad prácticamente destruida y cerca de 12000 personas fallecidas (Sauter, 1989)

En años más recientes en Quito el 12 de Agosto del 2014 se produjo un sismo con magnitud 5.1 cuyas consecuencias fueron personas fallecidas, heridas y construcciones con distintos niveles de daños, un movimiento que también pudo percibirse en los valles y que preocupó a la ciudadanía.

Esto es lo que se podría esperar que ocurra en el barrio Selva Alegre, ya que sismos moderados pueden afectar de manera drástica el comportamiento de las estructuras.

Por otro lado se pueden generar sismos de una gran magnitud que pueden incluso llegar a modificar las características físicas del terreno dependiendo de dónde se localice, y que sin embargo no suponen un riesgo para la población, debido a que su epicentro se ubica en zonas escasamente pobladas, un ejemplo de esto es el sismo que se produjo en Canadá cuya magnitud fue de 8.9 y que cambió la topografía del terreno pero que no existieron mayores pérdidas humanas o materiales al ubicarse alejado de los centros poblados (Hodgsoii, 1964).

La respuesta de una estructura durante un sismo implica que cuando este ocurre la base del edificio, casas u otro sigue la misma dirección del movimiento en tanto que los pisos o niveles superiores tratan de mantener su posición de reposo o inercia, el resultado son desplazamientos relativos y que para que la estructura mantenga su integridad esta debe deformarse, por lo que es importante observar que ante un movimiento telúrico una estructura responde principalmente a las deformaciones. (Colina & Ramirez, 2006, p. 12)

Durante un sismo el suelo experimenta movimiento en todas las direcciones, siendo por lo general las aceleraciones horizontales las más importantes por ser mayores a las verticales, y son estas las que se analizan.

Los mayores impactos producidos por sismos sean estos económicos, vidas humanas u otras se deben en gran parte a que las ciudades no están preparadas para estas situaciones, esto es porque no se toman en cuenta factores importantes para mitigar los daños.

La historia demuestra que se han producido sismos de gran magnitud pero que a pesar de esto se sigue construyendo estructuras de manera muy deficientes y que los mecanismos de control son muchas veces ignorados lo que resulta en desastrosas pérdidas como las de Haití (2010), Cachemira (2005) o el de Ecuador (2016).

En el país han ocurrido sismos de considerable magnitud a lo largo de su historia que han llegado a producir destrucción total y cambio del entorno, tal es el caso del sismo de Riobamba el 4 de Febrero de 1797 con una magnitud 8.3 o el de Esmeraldas en 1906 con una magnitud de 8.8 que provocó miles de muertes (IGEPN, 2016).

Se sabe de antemano que el Ecuador es una zona de alta peligrosidad sísmica pero también que algunas estructuras son vulnerables ante un posible suceso de este tipo ya que algunas de ellas carecen de un procedimiento adecuado en su construcción, por lo que suponen un alto riesgo para las personas ya que en algún momento estas podrían colapsar.

2.2.10. Actualidad de los sismos en el Ecuador

El Ecuador está ubicado en una zona de alto peligro sísmico, lo que implica que todas las estructuras civiles como puentes, casas, edificios entre otros que se encuentran construidas o que se piensan construir son susceptibles a sufrir daños, razón por la cual deben estar diseñadas siguiendo un proceso normalizado establecido en las normas o códigos como la NEC, ASCE 7 u otro que estuviere aprobado con el fin de dar una mayor seguridad y un mejor comportamiento ante un sismo por parte de las estructuras y que no constituyan un riesgo para las personas.

En la historia reciente se han registrado sismos de gran importancia que han afectado enormemente a las estructuras y las vidas de las personas, casos como el de

Bahía de Caráquez en la provincia de Manabí el 4 de Agosto de 1998 y que tuvo una magnitud de 7.1, y aún más reciente el sismo que se produjo el 16 de Abril del 2016 en el sector entre Pedernales y Cojimíes de magnitud de 7.8 a una profundidad de 20 km y que tuvo repercusiones en varias provincias del Ecuador siendo la más afectada la provincia de Manabí (IGEPN, 2016).

Este último generó severos daños a las estructuras, en su mayoría llevándolas al colapso total o dejándolas seriamente dañadas, se registraron zonas afectadas incluso en lugares alejados del epicentro como en la ciudad de Guayaquil o el sur de Quito

Sin embargo los sectores más afectados fueron los cercanos al epicentro como Pedernales, Manta y Atacames registrando varios centenares de muertes producto del colapso de viviendas y edificaciones. Se registraron 661 fallecidos oficiales y cerca de cien mil damnificados (La Hora, 2016).

Los primeros reportes señalan que la razón por las cuales las estructuras colapsaban era que en muchas de ellas el método constructivo, su diseño, los materiales eran deficientes al igual que la falta de control por parte de los encargados de la construcción, de la fiscalización y de los agentes reguladores de estos procesos.

En el Distrito Metropolitano de Quito se registró un sismo de magnitud 5,1, el 12 de Agosto del 2014, cuyo epicentro fue en el sector de Guayllabamba, siendo uno de los sismos de mayor relevancia para esta zona en la actualidad (IGEPN, 2014). Se reportaron personas heridas, varias casas e iglesias afectadas, dificultad en el tránsito en las parroquias ubicadas alrededor del epicentro.

Este sismo también tuvo repercusiones en el sector de Sangolquí ya que además de sentir el movimiento hubo desprendimiento de las tejas de cubiertas y fachadas de las viviendas provocando pánico entre la población.

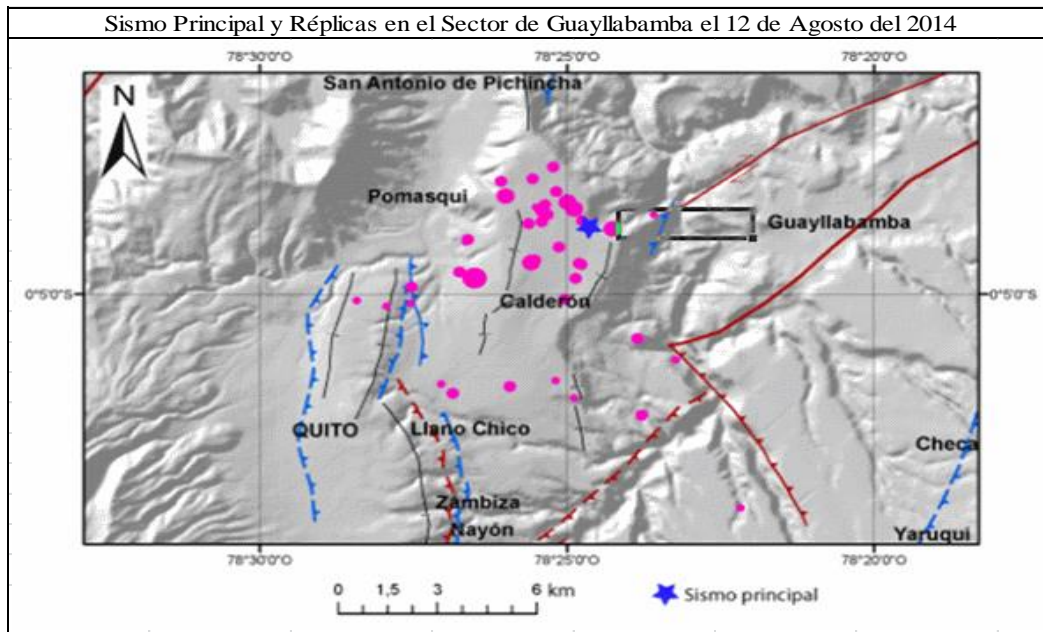


Figura 5: Localización del sismo principal y sus réplicas en el sector de Guayllabamba ocurrido el 12 de Agosto 2014).

Fuente: (IGEPN, 2014)

En la imagen anterior se observa la localización del sismo principal en el sector de Guayllabamba, también se registraron algunas réplicas, es decir sismos de menor intensidad.

El barrio Selva Alegre dio a conocer que sufrió daños leves no estructurales en sus construcciones debido a este sismo. Se registraron fisuras en las paredes, ventanas rotas, entre otros. Y aunque no tuvo mayores repercusiones para el sector es importante señalar que sismos de mayores magnitudes podrían afectar de manera muy significativa a las estructuras y en especial a las vidas de las personas.

Los sismos producidos por las placas de Nazca y Sudamericana pueden afectar también a Selva Alegre pese a que se generan en zonas alejadas a ella. Los principales motivos para que esto suceda es que la liberación de energía sea importante dando paso a magnitudes mayores o iguales a los 7 grados que como se ha visto a generado destrucciones a las estructuras y la otra es que la profundidad a la que se produce el movimiento sea mayor abarcando un área más extensa.

Además del sismo principal, otro factor a considerar son las réplicas, que son movimientos de menor magnitud e intensidad pero que sin embargo pueden ser importantes. Se determinó en algunos casos que ciertas estructuras resistieron al sismo principal pero que a pesar de eso terminaron colapsando debido a las réplicas las cuales pueden seguir ocurriendo por algún tiempo.

Es por eso que se deben tomar medidas correctivas o preventivas una vez determinada la vulnerabilidad de estas construcciones y tratar de mitigar los efectos devastadores que llegasen a producirse.

2.2.11. Sismos de mayor magnitud ocurridos en el Ecuador correspondientes a los años 2014, 2015 y 2016

En las siguientes tablas se observan los sismos de mayor magnitud ocurridos en el Ecuador en los años 2014, 2015 y 2016.

Tabla 4: *Registro de Sismos Importantes en el 2016*

SISMOS 2016	Ubicación		Profundidad del epicentro (Km)	Magnitud (M)
	Latitud	Longitud		
Fecha y Hora	Latitud	Longitud	Profundidad del epicentro (Km)	Magnitud (M)
16/04/2016 23:58	0.34739658	-80.1576538	17.0	7.4
18/05/2016 16:46	0.45526683	-79.8428802	9.7	6.7
18/05/2016 7:57	0.43762371	-79.9454422	7.8	6.6
17/04/2016 21:35	-0.91119879	-80.5608673	10.0	6.5
20/04/2016 8:35	0.67057306	-80.2459564	9.3	6.2
11/07/2016 2:11	0.59049124	-79.7691956	10.1	6.2
22/04/2016 3:03	-0.1843673	-80.7718277	10.0	6.2
17/04/2016 7:13	-0.39966396	-80.4013138	7.9	6.1
22/04/2016 3:20	-0.18189907	-80.877388	4.2	6.0
12/12/2016 10:53	0.9842329	-79.978559	5.3	5.1

Nota: Registro del sismo de mayor magnitud igual a 7.4 ocurrido el 16 de Abril del 2016. Fuente: (IGEPN, 2016).

Tabla 5: *Registro de Sismos Importantes en el 2015*

SISMOS 2015	Ubicación		Profundidad del epicentro (Km)	Magnitud (M)
	Latitud	Longitud		
Fecha y Hora	Latitud	Longitud	Profundidad del epicentro (Km)	Magnitud (M)
23/08/2015 15:07	-0.48470977	-81.4032822	24.8	6.4
28/12/2015 15:46	-3.78628325	-80.6108322	8.2	6.0
31/10/2015 20:32	-1.99150717	-80.0359039	39.8	6.0
28/04/2015 11:19	-2.15360784	-79.8692703	68.9	5.9
30/05/2015 6:26	1.21513736	-79.5673447	13.0	5.9
16/01/2015 11:39	-3.40549851	-80.2290726	38.5	5.6
01/02/2015 23:32	-3.92096639	-76.9168777	12.0	5.6
15/10/2015 10:07	-2.55166888	-79.060852	84.9	5.5
20/05/2015 22:34	-3.0976305	-77.7887802	12.0	5.5
04/10/2015 15:56	-3.8753953	-80.0512848	10.0	5.4

Nota: Registro del sismo de mayor magnitud igual a 6.4 ocurrido el 23 de Agosto del 2015. Fuente: (IGEPN, 2015)

Tabla 6: *Registro de Sismos Importantes en el 2016*

SISMOS 2014	Ubicación		Profundidad del epicentro (Km)	Magnitud (M)
	Latitud	Longitud		
Fecha y Hora	Latitud	Longitud	Profundidad del epicentro (Km)	Magnitud (M)
20/10/2014 19:33	0.79384565	-77.9447327	4.6	5.8
16/06/2014 6:39	1.57135475	-79.1476059	10.0	5.7
25/03/2014 9:56	-2.25098419	-79.2801743	8.1	5.6
30/09/2014 13:46	-6.20448494	147.6702271	45.6	5.4
03/12/2014 12:59	-2.37573457	-76.9524841	156.6	5.4
09/11/2014 13:26	-5.85601902	-78.7331314	10.0	5.3
09/03/2014 20:29	1.6120497	-79.4145432	8.2	5.3
09/09/2014 7:12	-4.20236587	-80.4044571	49.8	5.2
12/08/2014 19:57	-0.05094074	-78.415657	5.3	5.1
14/03/2014 20:53	-2.09138489	-79.8715134	52.0	5.1

Nota: Registro del sismo de mayor magnitud igual a 5.8 ocurrido el 20 de Octubre del 2014. Fuente: (IGEPN, 2014)

Estos sismos fueron registrados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, en ellos se detalla la siguiente información: la fecha y hora en la que se produjo el movimiento, la localización y profundidad del epicentro, y por último la magnitud del sismo.

Como se parecía en los últimos tres años se han producido sismo de gran importancia. Algunos de ellos han generado que las estructuras colapsen, como fue el caso de las edificaciones en Pedernales o del paso a desnivel en Guayaquil e incluso han provocado daños menores a casas y edificaciones en zonas alejadas al epicentro como es Quito y los Valles.

Se puede esperar que en un futuro este tipo de eventos sigan ocurriendo incluso de mayor magnitud y que puedan afectar abarcando un área más grande (IGEPN, 2015).

2.2.12. Sismicidad del barrio Selva Alegre

A lo largo de la historia del Ecuador se han registrado sismos de magnitud importante con consecuencias devastadoras para las personas, la falta de control en las construcciones constituye un factor importante para este resultado.

Ecuador integra la lista de países con mayores sismos registrados en el mundo, el 31 de Enero de 1906 presentó una magnitud de 8.8 y cuyo epicentro se localizó en el océano Pacífico, se reportó la presencia de un Tsunami, existieron estructuras colapsadas y 30 fallecidos en la provincia de Esmeraldas (IGEPN, 2015).

Las estructuras en ese entonces carecían de una construcción adecuada lo que asentó más el hecho de que no estaban preparadas para resistir este tipo de eventos.

Es por eso que es necesario tomar en cuenta los eventos sísmicos que han ocurrido en el pasado con el fin de analizar los posibles riesgos que pueden sufrir las estructuras en esta zona en el caso de producirse nuevamente este tipo de fenómenos.

De acuerdo con el Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015), el sector de Selva Alegre se encuentra en una zona de peligro sísmico alto, es por eso que los sismos que le pueden llegar a afectar son aquellos que se producen por el sistema de fallas de Quito pero también por aquellos correspondientes a las placas de Nazca y Sudamericana.

Es tanto así que el sismo del 16 de abril del 2016 con origen en Pedernales fue percibido en zonas alejadas como Sangolquí registrándose afectaciones menores en sus estructuras como fisuras en las paredes entre otros.

El sismo más fuerte que ha sufrido el sector del Barrio Selva Alegre se produjo el 9 de Agosto de 1938, afectando también otros sectores como Alangasí, Sangolquí y el Tingo, siendo su magnitud de 7.1 (IGEPN, 2015).

El sismo fue registrado a las nueve y un minuto de la noche cuyo epicentro fue calculado a unos 20 km de profundidad, el resultado fue devastador, muchas de las construcciones fueron destruidas, en tanto las demás quedaron totalmente inhabilitadas para su funcionamiento y para la época un gran número de casas estaban construidas de materiales como el adobe y no contaban con diseños sismo resistentes adecuados, razones por las cuales se obtuvieron estos resultados.

Es importante señalar que la zona después del evento sísmico tenía acceso restringido puesto que las edificaciones que se mantenían en pie constituían un riesgo para las personas porque su sistema estructural se encontraba comprometido y se temía que puedan colapsar en algún momento debido a las réplicas, causando más daño a los afectados y dificultando de igual manera las labores de rescate.

A continuación se presentan los principales sismos que han afectado de manera directa a este sector, se destaca que en los últimos años se han registrado movimiento telúricos con mayor frecuencia.

Tabla 7: *Sismos que sucedieron en zonas cerca de Selva Alegre*

Sismos Próximos a Selva Alegre		
Fecha	Magnitud	Lugar
09/08/1938	7.1	Sangolquí
12/08/2014	5.1	Quito
16/08/2014	4.7	Quito
15/03/2016	4.3	Quito
08/08/2016	4.7	Puembo
11/08/2016	3.8	Sangolquí
14/08/2016	3.7	Quito

Nota: Sismo de magnitud 7.1 ocurre en la Zona de Sangolquí el 9 de Agosto de 1938 afectando gravemente a las estructuras. Fuente: (IGEPN, 2014)

Ahora bien la zona de Selva Alegre no es lo que era en ese entonces, se conformaba principalmente por algunas construcciones pero sobre todo eran grandes extensiones de terreno en donde se ubicaban fincas y terrenos sin habitar.

Esto ha cambiado totalmente, esta zona se encuentra altamente poblada actualmente, existen casas, edificios, iglesias, escuelas entre otros, lo que supone que ante un sismo puede ocurrir una tragedia incluso mayor que la del 9 de Agosto de 1938.

En ese entonces las construcciones eran deficientes y sin ningún control, hoy el panorama no es tan diferente, algunos de los predios actuales no están registrados, no todas las construcciones contaron con un permiso y tampoco lo obtuvieron cuando se han levantado pisos adicionales a las obras existentes e incluso carecen de un estudio por parte de un profesional en su diseño y construcción.

Actualmente de acuerdo al IGEPN (2016) se registran sismos en esta zona con magnitudes que oscilan entre los 3 y 5 grados que no representan un mayor peligro para las estructuras, pero la historia ha demostrado que han existido eventos en los cuales se han registrado sismos de magnitudes mayores y que constituyen un peligro real para la población actual.

Es por esto que el objetivo de esta evaluación es analizar la probabilidad de colapso de las estructuras que se encuentran ubicadas en el sector de Selva Alegre y que pueden sufrir daños severos ante un evento sísmico

2.3. Analizar el comportamiento del volcán Cotopaxi

El volcán Cotopaxi se encuentra monitoreado constantemente, su proceso eruptivo constituye una amenaza y un peligro real tanto para la población como las estructuras cercanas a él, al igual que aquellas que se encuentran más alejadas que pueden verse afectadas por la caída de ceniza, lahares, etc.

De ocurrir una erupción los daños serían muy graves ya que no solo afectaría a las estructuras sino también a las personas que es lo más importante. Las amenazas son varias, desde caída de ceniza, gases tóxicos, flujos piroclásticos hasta la producción de lahares por el derretimiento de la nieve del volcán, y es esta última la más peligrosa para el sector de Selva Alegre.

Los lahares constituyen el mayor peligro, estos se producen cuando el volcán hace erupción derritiendo la nieve a su alrededor debido a las altas temperaturas, esta posteriormente se mezcla con tierra, escombros, árboles y todo lo que se encuentre a su paso y se potencia al tomar los cauces de los ríos provocando inundaciones y destruyendo todo aquello que se encuentre a su paso.

De acuerdo al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2016), el sector de Selva Alegre se encuentra en el paso del lahar y se estima que de suceder las construcciones quedarían sumergidas bajo el mismo.

En el pasado han ocurrido lahares provocando una gran destrucción a su paso, actualmente esto ha tomado importancia debido principalmente a la existencia de asentamientos, construcciones, etc; en donde las pérdidas pueden ser muy cuantiosas.

El sector de la construcción en el Ecuador carece de controles que puedan mitigar los daños que se pueden producir ante un desastre natural como la erupción del volcán, la falta de regularización y de seguimientos en los procesos constructivos hacen que se vuelvan vulnerables.

El principal peligro es que se ubican en zonas de alto riesgo, es decir que los flujos del lahar las atraviesan y pese a que existen registros de erupciones importantes por parte del volcán y que se sabe que eventualmente podría volver a ocurrir se sigue construyendo en estos sectores.

Las estructuras que se evalúan en el presente trabajo se encuentran ubicadas en el barrio de Selva Alegre y corresponden principalmente a casas y edificios que en su mayoría no superan los cuatro pisos de altura, lo que supone que pueden llegar a estar

parcial o totalmente inundadas por flujos laharíticos, debido a esto algunas de ellas ya han sido abandonadas.

En la siguiente imagen se puede observar que en el Ecuador existen una gran variedad de volcanes, algunos de ellos activos, pero es el Cotopaxi el de mayor relevancia debido a que se encuentra en proceso de erupción y que representa una amenaza real.

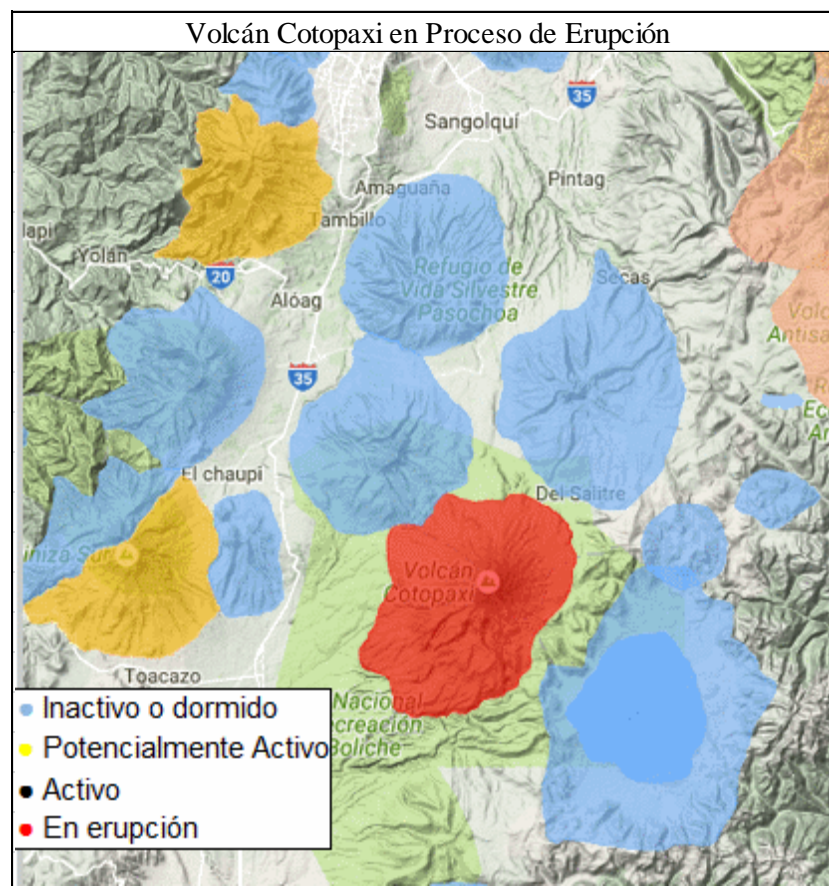


Figura 6: En rojo, el volcán Cotopaxi se encuentra en proceso de erupción

Fuente: (IGEPN, 2015)

Aunque el volcán Cotopaxi es monitoreado constantemente su erupción puede darse en cualquier momento y si bien ahora se encuentra relativamente calmado un

fenómeno natural de este tipo no pude detenerse, contenerse o evitar que se produzca, sin embargo se puede mitigar sus efectos devastadores

2.3.1. Antecedentes

El volcán Cotopaxi está localizado en la Cordillera de los Andes a 45 km de la ciudad de Quito, y que actualmente se encuentra cubierto por un casquete glaciar con un área de 11.56 km² (Cáceres, Ramírez, & Francou, 2004).

El volcán Cotopaxi tiene una historia geológica de cerca de medio millón de años producto de una gran explosión eruptiva. Cerca de 400000 años permaneció inactivo, sin embargo tiempo después se produjeron seis explosiones de composición riolítica importante (Hall, Mothes, & Hidalgo, 2005).

En estas explosiones se evidenció la presencia de flujos lahares, ceniza, rocas andesita y riolita en gran magnitud que llegaron hasta el océano Pacífico. En algunos casos los flujos de magma producto de la explosión llegaron a tener un volumen aproximado de 100 km³. Esto se pudo comprobar gracias a que se encontraron depósitos en zonas tan alejadas como la provincia de Esmeraldas (Mothes, Hall, & R, 1998).

La última gran erupción se produjo en el año de 1877, en el cual al inicio de este se registró la caída de ceniza, y el 26 de Junio se produce un aumento de la actividad volcánica tales como flujos piroclásticos, salida de gases y ceniza volcánica.

Es entonces con esta erupción que se derrite el casquete glaciar del volcán provocando grandes flujos de lodo, lahares y escombros que descendieron, afectando los poblados cercanos, casas, fabricas, cultivos y llegando incluso al fallecimiento de personas.

La actividad del volcán se mantuvo en los siguientes años pero sin tener la intensidad registrada el 26 de Junio de 1877, provocando la caída de ceniza y flujos laharíticos menores que no afectaron demasiado.

2.3.2. Reactivación del volcán

El volcán ha mostrado una reciente actividad en los últimos años, a partir de mediados del mes de Abril del 2015 es cuando se observa un aumento en la actividad sísmica con un número de 628 eventos y que llega a mostrarse de manera más intensa en el mes de Mayo con 3000 sismos registrados, sin duda un aumento importante que es inclusive mayor a los eventos registrados en los años 2001 a 2002 (IGEPN, 2015).

Dentro de los eventos sísmicos se determinó que su ubicación se encuentra a profundidades de entre 3 a 14 km, pero que todos ellos se encuentran cercanos al cono del volcán.

Al monitorear el volcán se registró que hubo un aumento en la cantidad de emisión de dióxido de azufre (SO_2), si bien en el proceso eruptivo existe la expulsión de otros gases de mayor magnitud como el dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O), es el dióxido de azufre el que causa daño a las personas y al medio ambiente (IGEPN, 2015).

Los periodos de reactivación del volcán en cuanto a grandes erupciones se refiere comprende entre 100 y 150 años, actualmente han pasado 139 años desde la última gran explosión por lo que es posible una nueva erupción (Robert, D'Ercole, Pigeon, & Serrano, 2009).

2.3.3. Índice de explosividad (IEV)

El índice de explosividad es una escala para medir la magnitud de los eventos volcánicos, este se encuentra dividido en 8 grados, en él se analiza varios factores como el volumen de lava, piroclastos, ceniza expulsados por el volcán, la duración de la explosión entre otros.

En una publicación realizada por Newhall & Self (1982) se observa un registro en el cuál se encuentra el volcán Cotopaxi y su respectivo IEV para los años 1534 y 1877.

Tabla 8: *Índice de Explosividad Volcánica del Cotopaxi*

Índice De Explosividad Volcánica E Historial Del Volcanismo					
Volcán	Latitud (Grados)	Longitud (Grados)	Fecha	Elevación (m)	IEV
Cotopaxi	-0.65	-78.43	Junio, 1534	5897	4
Cotopaxi	-0.65	-78.43	Junio 25, 1877	5897	4

Nota: Índice de explosividad Volcánica igual a 4 registrado en los años 1534 y 1877. Fuente: (Newhall & Self, 1982)

Si se parte de estas erupciones anteriores se comprueba que el índice de explosividad fue de 4, por lo que es de esperar que de producirse una nueva erupción esta tenga un nivel igual o similar, ante este escenario se espera un volumen desalojado durante la explosión mayor a 0.1 km^3 de material volcánico (IGEPN, 2015).

2.3.4. Escenarios eruptivos

Según el Instituto de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional (2015) existen los siguientes escenarios:

Escenario 1: en este evento se espera que el volcán emita ceniza constantemente pero en cantidades pequeñas, se caracteriza por ser poco explosivo y no representa un mayor peligro, las principales zonas afectadas son los flancos del propio volcán y zonas muy cercanas a él, por lo que la afectación a la población sería mínima.

Escenario 2: en este tipo de evento se espera que exista coladas de lava, flujos piroclásticos, caída de ceniza permanente, es decir una mayor explosividad que la del escenario 1 llegando a formar lahares y cuya principal afectación sería a las poblaciones cercanas al volcán y las edificaciones que se encuentren ubicados en las zonas de drenaje, es decir que estén cerca de los ríos Pita, Cutuchi y Tamboyacu.

Escenario 3: se espera que este evento se produzca de manera muy similar a la explosión ocurrida en el año de 1877, es decir que exista una fuerte caída de ceniza, seguida de flujos piroclásticos que en definitiva formarían, al unirse con el lodo y siguiendo a los ríos Pita, Cutuchi y Tamboyacu, lahares de tamaño importante cuya afectación serían aquellas poblaciones cercanas a estos cauces provocando inundaciones.

En este caso nuestra zona de estudio propuesta en esta tesis se vería afectada debido en gran parte a que se encuentra en la dirección del flujo del lahar impulsado por las aguas del río Santa Clara.

Es importante remarcar que es este escenario que más se espera que ocurra debido a que en su historia se han producido al menos 10 explosiones de este tipo en los últimos 2000 años.

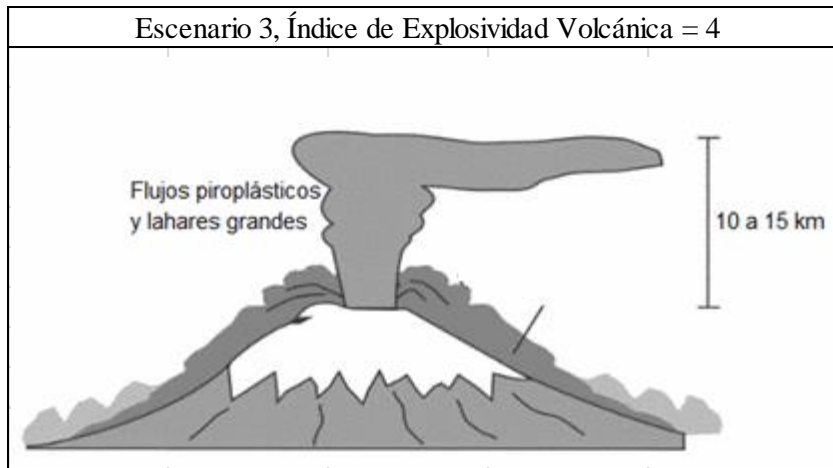


Figura 7: Escenario 3 de la posible erupción del volcán Cotopaxi

Fuente: (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

Escenario 4: este evento es poco probable que ocurra, se estima que se ha producido en etapas tempranas del volcán.

Se caracteriza por una intensa actividad, la ceniza llegaría incluso a 1.5m de espesor en zonas cercanas al volcán, mientras que los flujos piroclásticos y los lahares serían los más grandes que se hayan registrado.

2.3.5. Afectación de las estructuras por lahares ubicadas en el Barrio Selva

Alegre

Una erupción en sí no es el problema para este sector, sino los lahares producto de ella que en adición a la caída de ceniza agrava aún más el problema.

Estos se componen básicamente de lodo, agua, tierra, rocas y escombros, se producen debido a que durante la explosión del volcán las altas temperaturas generadas provocan fusión del glaciar, el agua recorre los flancos del volcán mezclándose con los materiales que encuentre a su paso.

Estos flujos toman los cauces de los ríos provocando inundaciones, en el caso puntual de Selva Alegre existe la posibilidad que tome el cauce del Rio Santa Clara aumentando de esta forma su volumen y velocidad.

La historia muestra que es muy probable un escenario tipo 3, como el ocurrido en el año de 1877 y en donde se ha estimado un volumen del lahar de 0.07 km³ además de una altura aproximada de 13 metros, y que podría volver a ocurrir (IGEPN, 2015).

Se sabe que hubo muchos daños e inundaciones en las estructuras, pérdidas de campos agrícolas, sin embargo las condiciones de ese entonces son diferentes a las actuales.

Para empezar ha existido un crecimiento poblacional considerable, han aumentado el número de estructuras, viviendas y centros comerciales por lo que es importante remarcar que en caso de ocurrir un evento de esta magnitud los daños serían mucho más cuantiosos y extensos que en aquel entonces.

Bajo estas condiciones muchas de las estructuras actuales quedarían sumergidas casi en su totalidad bajo los flujos laharíticos.

Es por esta razón que es importante determinar el número estructuras (viviendas, edificaciones) que se verían afectadas por esta condición, cuáles de ellas se encuentran parcialmente sumergidas y cuáles se encuentran sumergidas totalmente bajo los flujos de lodo (lahares).

Existen otras amenazas generadas por la erupción volcánica como la caída de ceniza, flujos de lava, gases volcánicos, entre otros sin embargo estos no se analizan porque su afectación se produce a las zonas cercanas al volcán o bien no constituyen un gran peligro para las estructuras en análisis como sí lo son los lahares.

Es por este motivo que el análisis de las estructuras en el Barrio de Selva Alegre se hace en base al efecto de inundación por parte de los flujos de los lodos.

Las características más importantes que se evalúan en las estructuras bajo este contexto son: su altura ya que esta determina cuáles de ellas se encontrarán parcial o totalmente sumergidas y por otro lado su ubicación ya que existe la probabilidad de que algunas estructuras no se verían afectadas a pesar de que se encuentren muy próximas al paso del flujo del lahar.

2.3.6. Zona afectada por el lahar producido por la erupción del volcán

Cotopaxi

El área analizada se compone de 4 manzanas dentro de las cuáles se evalúan 255 estructuras.

En el siguiente gráfico se evidencia todas las estructuras de la zona de estudio verían afectadas por los lahares. Esta afectación es de acuerdo a la última actualización del mapa de riesgos del año 2017.



Figura 8: Zona Afectada por el lahar producido por el volcán Cotopaxi

Fuente: (Secretaria de Gestión de Riesgos, 2017; Google Earth, 2016)

Es importante recordar también que estas estructuras se encuentran amenazadas por la explosión del volcán por una falta de previsión en cuanto a su ubicación y a una adecuada planificación cuando estas fueron construidas. Vemos en la imagen que toda la zona es afectada por un posible lahar.

Capítulo III

Recopilación de información mediante fichas de evaluación

3.1. Metodología de investigación

Mediante la aplicación de la evaluación técnico visual se pudo determinar que estructuras son vulnerables y potencialmente peligrosas ante fenómenos naturales tales como sismos o erupciones volcánicas en el sector Barrio de Selva Alegre desde la Calle Ramón Gonzales Artigas hasta la intersección de las calles Juan de Salinas y Antonio Checa.



Figura 9: Zona de Estudio en el Sector de Selva Alegre

Fuente: (Google Earth, 2016)

Esta área comprende cuatro manzanas dentro de las cuáles existen 255 estructuras, estas corresponden a construcciones, o edificaciones que suponen un riesgo debido que se encuentran en una zona de alto riesgo sísmico y también del paso del flujo del lahar,

ambos fenómenos naturales pueden comprometer seriamente a las estructuras dejándolas incluso inhabitables lo que supone una amenaza para las personas que residen aquí.

Para evaluar las estructuras y determinar su riesgo se ha realizado un levantamiento de información por medio de fichas en las que se detalla la siguiente información: número de pisos, altura total, año de la edificación, materiales de construcción, elementos no estructurales, sistema resistente sísmico (columnas, vigas, muros de corte, etc.), uso de la estructura, tipo y uso del suelo, irregularidades en planta y elevación. También se incluyó en las fichas información adicional como su ubicación y una fotografía de cómo se encuentra la estructura actualmente.

Estas fichas se encuentran propuestas en FEMA (2015), en respuesta a la necesidad de realizar evaluaciones de estructuras afectadas por desastres naturales a bajo costo y de manera rápida abarcando una mayor área y número de construcciones.

Se ha empleado este método de investigación a través de fichas por su fácil uso y entendimiento, su rapidez para obtener información y porque contiene un criterio técnico que permite una evaluación objetiva de las construcciones analizadas.

Para determinar la vulnerabilidad de una estructura se han realizado dos procesos, el primero constituye una evaluación en campo en la que se recopila la información y la otra un análisis de los datos y resultados obtenidos.

Al término de ambos procesos se obtuvieron resultados que indican que estructuras suponen un riesgo y cuáles no ante la posibilidad de ocurrencia de un sismo o de los lahares producidos por la erupción del volcán Cotopaxi.

3.2.Evaluación en campo

Para esta investigación se han realizado evaluaciones en campo de las estructuras usando las fichas propuestas por el FEMA (2015), por lo que se ha seguido el siguiente procedimiento.

3.2.1. Antes de la evaluación en campo

Se empezó por ubicar el área susceptible a desastres naturales, esta zona corresponde al Barrio de Selva Alegre en el cantón Rumiñahui, se determinó de acuerdo con la NEC (MIDUVI, 2015) que la zona es de peligro sísmico alto y también que puede ser afectada por los lahares producido por la erupción del volcán Cotopaxi.

A continuación se delimitó la zona de evaluación a aquella comprendida entre las calles Juan Larrea, Juan de Salinas, Francisco Guarderas y Ramón González Artigas.

A través de instituciones como el GADMUR, la Secretaría de Gestión de Riesgos y el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional se obtuvo información importante tales como mapas prediales, zonas de riesgo, eventos sísmicos y actividad reciente del volcán Cotopaxi. Y a través de otros medios como libros, normas, códigos y páginas oficiales de internet se tiene información sobre la historia del lugar, ubicación de la zona, geografía y conceptos sobre sismicidad.

Se ubicó un lugar representativo para realizar el ensayo del SPT (Standard Penetration Test) con el fin de determinar el tipo de suelo sobre el que se cimientan las estructuras ya que es una parte que influye en su comportamiento durante un sismo y en el puntaje final de la evaluación.

Luego se ubicaron los ríos cercanos a la zona de estudio que pueden afectar a las construcciones, este es el caso del río Santa Clara cuyo cauce sería tomado por el lahar aumentando su volumen.

3.2.2. Durante la evaluación de campo

Se obtuvo la información catastral de las estructuras analizadas, en ella se detalla su ubicación y al predio al que pertenece, esta información fue provista por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Rumiñahui (GADMUR).

Se ubicaron a las construcciones dentro del área de estudio y empleando las fichas de evaluación se identificaron los tipos de construcciones existentes y se determinó el uso y la ocupación que se les da.

Se determinaron todas las irregularidades que presentan incluyendo aquellas en vertical o en planta o cualquier posible amenaza que presente como partes del edificio que pueden desprenderse y caer causando daño.

Se identificó los materiales con los que se construyó la estructura, el sistema resistente sísmico y colocando el puntaje correspondiente.

En la sección de la ficha de los Modificadores del Puntaje se colocó aquel puntaje que corresponde a la característica particular de cada estructura como irregularidades en planta, elevación, tipo de suelo.

Se determinó el puntaje final al ajustar el puntaje base a través de los modificadores del puntaje.

Al final de la ficha se anotan otros elementos como grado de la revisión finalizando así la evaluación.

Luego se tomaron fotografías de las estructuras como evidencia del estado en el que se encuentran actualmente, además representan una forma fácil de identificación.

A continuación se Identificó los ríos cercanos al área de estudio y su posible influencia para el riesgo de las edificaciones, se determinó que el río Santa Clara es aquel de mayor importancia ya que a través de su cauce fluiría el lahar que en caso de ocurrir provocaría inundaciones que afectan directamente a las construcciones.

Se realizó el ensayo del SPT (Standard Penetration Test) para identificar el tipo de suelo sobre el cual se encuentran cimentadas las estructuras, se realizó una clasificación in situ del suelo precisando también la existencia de nivel freático. Se tomaron muestras representativas de cada estrato de suelo que fueron llevadas al laboratorio para su identificación.

3.3. Análisis de datos y resultados

3.3.1. Después de la evaluación de campo

Se realizaron los ensayos de las muestras recuperadas del ensayo SPT en el laboratorio y se clasificó al suelo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

A continuación se procedió a procesar la información obtenida en las fichas y se realizó un análisis del riesgo de las estructuras de acuerdo al FEMA P-154 y FEMA P-155 en conjunto con la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Con los resultados obtenidos y una vez tabulados se concluyó que estructuras son vulnerables ante fenómenos naturales como sismos o lahares. También se realizaron recomendaciones sobre los aspectos más importantes de esta investigación.

En el caso de la vulnerabilidad de las estructuras ante un sismo se empleó la evaluación mediante un puntaje propuesto en la ficha de la FEMA P-154.

Y para el caso de que la afectación sea por el lahar producto de la erupción del volcán Cotopaxi se ha propuesto que sea la altura el parámetro principal de evaluación por lo que se exponen tres niveles de afectación:

1. Estructuras sin ninguna afectación.
2. Estructura sumergida parcialmente.
3. Estructura sumergida totalmente.

Los detalles de la forma de evaluar ambos casos se explicarán más adelante en este capítulo.

3.4. Fichas utilizadas para levantar información

La ficha presentada para este trabajo es aquella propuesta por el FEMA (2015), esta corresponde al nivel de alta sismicidad, en ella se detallan los puntos más importantes que se evaluarán en las estructuras, cada ficha detalla la información de la estructura de manera individual.

En este trabajo se determinó que las posibles afectaciones a las estructuras pueden ser aquellas producidas tanto por un sismo o un lahar, la diseñada está diseñada en el caso de un eventual sismo, sin embargo existe una sección en la que se determina el número de pisos con la cual se estima la altura de la edificación, característica que es compartida y válida para ambos fenómenos, por lo que la ficha es usada para ambas eventualidades dentro del mismo formato.

Se empleó este tipo de levantamiento de información por ser una manera efectiva de evaluar una estructura, la obtención de datos se realiza en campo mediante la ficha en base a un criterio técnico.

Sin embargo existen secciones en la ficha en que la información se ha obtenido antes de la evaluación en campo de la estructura como tal, este es el caso del tipo y ocupación del suelo en la que la información fue adquirida mediante ensayos y través de organismos públicos como el GADMUR.

También su ubicación, la zona sísmica a la que pertenece forman parte de la obtención previa y se ha obtenido a través de otros medios como libros, periódicos, normas, etc.

Al emplear este método de investigación se cumple con el objetivo de obtener la mayor cantidad de información que ayude a evaluar las edificaciones de una manera objetiva, en adición de ser una manera rápida.

Es importante destacar que también se necesita conocimiento previo sobre los términos que se exponen en esta ficha antes de utilizarla para su mejor comprensión.

3.4.1. Ficha para evaluar las estructuras ante un sismo o un lahar

La ficha es utilizada para levantar información en campo y poder evaluar las estructuras ante la posibilidad de ocurrencia de un sismo o un lahar, es una manera de evaluar rápidamente las estructuras incluyendo a aquellas en las que no se puede acceder fácilmente por algún motivo, esta presenta el siguiente formato:

3.4.1.1. Información de la identificación de la estructura.

En esta sección de la ficha se encuentra toda aquella información pertinente a la dirección, nombre del edificio, latitud, longitud de la zona sísmica a la que pertenece la estructura, estos datos se obtienen previos a la evaluación en campo, sin embargo en el caso de que la información no se pudo obtener antes de la evaluación esta puede ser adquirida durante la inspección de la estructura.

Dirección:	Calle Juan Larrea		
	Zip:	171104	
Otra Identificación:	130		
Nombre del Edificio:	N/A		
Uso:	Residencial		
Latitud:	-0.347425	Longitud:	-78.429825
SS:	1.0 g	S1:	0.4 g
Evaluador(es):	J.C - A.S	Fecha/Hora:	Agosto 2016/9:00am

Figura 10: Información para identificar a la Estructura

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.1.1. Identificación de la estructura.

En este campo se ubicará la dirección, se anota las calles, el número o código de la propiedad, el código postal único para toda la zona y que es el 171104, el nombre del edificio si tuviere y su uso actual.

3.4.1.1.2. Latitud, longitud, SS, S1.

La latitud y la longitud son datos que se pueden obtener mediante algún software como lo es google maps u otro similar.

En cuanto a los campos Ss y S1 corresponden a la determinación de la zona sísmica a la que pertenece el barrio de Selva Alegre, el primero pertenece a periodos cortos de

tiempo en tanto que el S1 corresponde a periodos de 1 segundo. De acuerdo a la NEC (MIDUVI, 2015), el factor Z tiene un valor de aceleración de 0.4g para periodos de 1 segundo y que califica a esta como zona de peligro sísmico alto y si comparamos con el FEMA esta corresponde a la misma región.

Región Sísmica	Respuesta de la Aceleración Espectral, Ss(Período Corto o 0.2 segundos)	Respuesta de la Aceleración Espectral, S1(Período Largo o 1.0 segundo)
Alto	igual o mayor a 1.000 g pero menos de 1.500 g	igual o mayor a 0.400 g pero menos de 0.600 g

Figura 11: Respuesta de la Aceleración Espectral Ss y S1 que determinan la Región Sísmica

Fuente: (FEMA, 2015, p. 62)

3.4.1.1.3. Evaluador, fecha y hora.

En esta sección se coloca el nombre de quien realiza la evaluación, se puede colocar de manera alternativa sus iniciales.

Se coloca la fecha y la hora en la que se realizó el levantamiento de información de la estructura evaluada.

3.4.1.2. Características generales de la estructura.

No. Pisos: Sobre el Terreno: <u>1</u>	Bajo el Terreno: <u>0</u>	Año Construcción: <u>2001</u> <input checked="" type="checkbox"/> EST
Área Total de Piso (m²): <u>61</u>		Año del Código: <u>2001</u>
Construcción Adicional: <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno	<input type="checkbox"/> Sí, Año(s) Construido:	

Figura 12: Características Generales de la Estructura

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.2.1. Número de pisos.

En esta sección se anota el número de pisos que presenta la estructura, esta característica se relaciona con la altura total, por lo general para viviendas y zonas

residenciales se estima que la altura de entepiso se encuentre entre 2.80 y 3.0 metros, para esta investigación se ha tomado 3.0 metros ya que las construcciones son en su mayoría del tipo residencial.

Esto es importante debido a que a través de él podemos determinar el grado de afectación a la estructura debido a una inundación producto de un lahar.

Para el cálculo de la altura se multiplicaran este valor de 3.0 metros por el número de pisos que contenga la estructura.

Estos valores se compararan con la altura del lahar y se determinará cuáles estructuras quedan sin afectación, cuales parcialmente sumergidas y aquellas que queden totalmente sumergidas.

La altura del lahar para esta evaluación es de 12 metros de altura, es decir que estructuras con una altura igual o menor a la del lahar quedaran sumergidas totalmente y aquellas que superen esta altura quedaran parcialmente sumergidas

3.4.1.2.2. Año de construcción y el año del código.

En esta sección se colocará el año en que fue construida la estructura, su relevancia radica en que este incide directamente en el diseño y las prácticas constructivas.

Este valor se puede estimar de acuerdo a las características como su arquitectura y el uso que se le da, se señala en la casilla correspondiente si esto fuera así.

La sección que indica el año del código sirve para colocar el año de la norma con la que fue diseñada la estructura, puede suceder que existan estructuras que se hayan diseñado con códigos o normas en los cuales los requisitos sísmicos eran menores o diferentes a los actuales.

Para los propósitos de esta investigación se ha determinado que el año del código sea el 2001 ya que a partir de este año hubo mejoras en el nominado Código Ecuatoriano de la Construcción en la sección de sismo resistencia que posteriormente se transformó en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015).

3.4.1.2.3. Área total del piso.

Este valor corresponde al área total de un piso y luego multiplicarla por el número de pisos que contiene la estructura, este se puede obtener de los planos de construcción, pero en caso de no poder obtener esta información se puede estimar su valor.

3.4.1.2.4. Estructuras con construcciones adicionales.

En ciertos casos se encuentran estructuras que presentan pisos adicionales o algún elemento agregado a la construcción original, estos pueden estar permitidos o no, sin embargo estos deben ser anotados en esta sección, también pueden presentar diferentes sistemas estructurales resistentes sísmicos por lo que es importante tomar en cuenta si existe o no estas condiciones, de ser así se deberá colocar el año en que se realizó esta adición o estimarlo en caso de no tener dicha información.

3.4.1.3. Fotografía de la estructura.

Este espacio es usado para colocar una imagen de la estructura, es una forma fácil de visualizar las diferentes características que presenta y para identificarla de una manera rápida, se puede adicionar algunas fotografías en caso de requerirse, puede ser el caso de que la estructura presente irregularidades en todos sus lados y se necesite recopilar esa información.



Figura 13: Fotografía de la estructura evaluada

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.4. Bosquejo de la estructura y soporte fotográfico adicional.

En esta sección puede ser utilizada para realizar una representación gráfica de manera rápida de la estructura, se puede indicar las irregularidades que presenta, el número de pisos y la forma que tiene en planta y elevación.

También puede ser utilizada para colocar más fotografías que sirva de apoyo visual de las características más importantes de la estructura.

Se puede notar también que en algunas construcciones pueden existir fisuras importantes, objetos que se pueden caer o se encuentran en mal estado, de igual manera se puede señalar si existe colindancia o golpeteo con las estructuras adyacentes representando un riesgo en cuyo caso se puede adjuntar una foto que muestre estas particularidades.



Figura 14: Bosquejo de la estructura y soporte fotográfico adicional

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.5. Ocupación de la estructura.

En este lugar se determina el uso que se le da a la estructura, se debe señalar el campo adecuado, estos campos son:

Ocupación:	Reuniones	Comercial	Servicios Emergen.	Histórico	Refugio
	Industrial	Oficina	Escuela	Gobierno	
	Utilidad	Almacén	Residencial,	# Departamentos: 6	

Figura 15: Ocupación de la Estructura

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.5.1. Sala de reuniones.

Este es un lugar público en donde se reúnen las personas, estos pueden ser teatros, auditorios, casas comunales, iglesias, entre otros.

3.4.1.5.2. Comercial.

Se define como uso comercial a todas aquellas estructuras que están destinadas a centros de negocios, instituciones financieras, restaurantes, locales comerciales.

3.4.1.5.3. Servicios de emergencia.

Se define como cualquier lugar que necesite mantenerse operativo después de un desastre natural, estos pueden ser donde operan los bomberos, la policía, hospitales, centros de comunicación.

3.4.1.5.4. Histórico.

Estos lugares son todos aquellos que forman parte del patrimonio de la ciudad, por lo general son lugares pertenecientes al casco colonial como casas, iglesias y que son preservadas por su relevancia histórica.

3.4.1.5.5. Refugio.

Son todas aquellas destinadas a proveer refugio a personas en caso de un desastre y que no puedan volver a sus viviendas.

3.4.1.5.6. Industria.

Se refiere a todas aquellas estructuras que funcionan como fábricas, plantas de ensamblaje y similares.

3.4.1.5.7. Oficina.

Son todas aquellas estructuras en las que se realizan trabajos de manejo de personal, o servicios profesionales.

3.4.1.5.8. Escuela.

Estas estructuras son aquellas que comprenden a albergar en su interior a estudiantes, comprenden todos los niveles de educación desde la primaria hasta edificios universitarios.

3.4.1.5.9. Gobierno.

Son todas aquellas instituciones públicas como ministerios, lugares donde operen funcionarios públicos.

3.4.1.5.10. Utilidad.

Son todas aquellas estructuras públicas o privadas que proveen un servicio como plantas de tratamiento de agua, de energía eléctrica y subestaciones de energía.

3.4.1.5.11. Almacén.

Son lugares con espacios amplios donde se almacenan productos para su venta posterior.

3.4.1.5.12. Residencial.

Estas son todas aquellas estructuras destinadas a albergar personas, pueden ser casas, edificios de vivienda, hoteles, apartamentos, condominios, residencias, asilos.

3.4.1.6. Tipo de suelo.

En esta sección definiremos el tipo de suelo sobre el cuál esta cimentada la estructura, su designación es acorde a los ensayos realizados y su clasificación de acuerdo al SUCS y a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en caso de no poder obtener esta información se asume un suelo tipo D ya que es el tipo de suelo más común que se puede hallar, se señala NSS (No se Sabe), indicando que este dato no se pudo obtener.

Tipo de Suelo:	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C	<input checked="" type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> NSS
	Roca	Roca	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	si NSS, asumir Tipo D.
	Dura	Media	Denso	Rígido	Suave	Pobre	

Figura 16: Tipología del Suelo

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.7. Peligros geológicos.

Licuefacción, deslizamientos de tierra y ruptura superficial del suelo son los tres tipos de peligros geológicos que pueden aumentar el daño a las estructuras en el caso de un sismo, si se detecta cualquiera de ellas es necesario una evaluación más detallada.

Se marcara si existe o no la falla, en caso de no poder determinarla se señalará NSS (No Se Sabe).

Peligros Geológicos: Licuefacción: <input checked="" type="checkbox"/> Si / <input type="checkbox"/> No / <input type="checkbox"/> NSS	Deslizamiento: <input checked="" type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> No / <input type="checkbox"/> NSS	Ruptura Superficial: <input checked="" type="checkbox"/> S / <input type="checkbox"/> No / <input type="checkbox"/> NSS
--	---	---

Figura 17: Amenazas Geológicas

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.8. Proximidad entre estructuras.

Este campo es utilizado para describir si existen estructuras muy próximas entre sí y dado que durante un sismo las estructuras pueden moverse en direcciones diferentes puede ocurrir daños a las mismas ya sea por golpeteo o por desprendimientos de partes de la misma que puedan caer y dañar a las estructuras colindantes, estos pueden ser paredes, chimeneas, tanques de agua.

Proximidad:	<input checked="" type="checkbox"/> Golpeteo	<input type="checkbox"/> Peligro de Caída de Elementos de una Estructura más Alta
-------------	--	---

Figura 18: Proximidad entre las estructuras

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.8.1. Golpeteo.

Para que el golpeteo no sea un problema debe existir una separación entre las estructuras adyacentes, esta separación se encuentra recomendada por el FEMA (2015) y para esta investigación es de 4cm por cada piso, esto es si una estructura presenta tres pisos deberá tener al menos 12 cm de separación con respecto a los edificios adyacentes, esto se debe a que la ubicación de las estructuras se encuentran en una zona de alta sismicidad.

Se considera que existe golpeteo en caso de que la separación sea menor a la mínima y si presenta al menos una de las siguientes consideraciones:

1. Las estructuras están separadas verticalmente por más de 60 centímetros

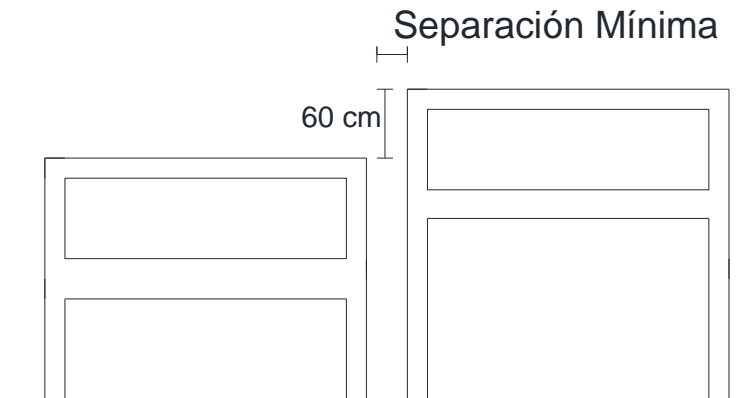


Figura 19: Condiciones para que exista Golpeteo

Fuente: (FEMA, 2015)

2. Que una estructura sea dos o más pisos más alto que el que se encuentre junto a él, el daño se localiza en la estructura más alta al nivel del techo de la estructura más baja.



Figura 20: Condiciones para que exista Golpeteo

Fuente: (FEMA, 2015)

3. Una estructura se encuentre al final de una línea de tres o más edificaciones, el riesgo es para la estructura final ya que no tiene una estructura adyacente con la cual balancear las fuerzas provocadas durante un sismo.



Figura 21: Condiciones para que exista Golpeteo

Fuente: (FEMA, 2015)

En el caso de determinar que existe golpeteo, se debe marcar directamente una evaluación más detallada de la estructura y señalar que existe dicho problema.

3.4.1.9. Irregularidades.

Muchas veces las estructuras son irregulares, ya sea por diseño, economía o por funcionalidad, sin embargo estas irregularidades afectan el desempeño de la misma en caso de un sismo, esto puede llevar a dañar a la estructura severamente e incluso puede llegar a colapsar.

Las irregularidades se dividen en dos que son en planta y elevación, estas se señalarán en la siguiente sección de la ficha:

Irregularidades:	<input type="checkbox"/> Vertical (tipo/severidad)
	<input type="checkbox"/> Planta (tipo)

Figura 22: Irregularidades de las estructuras

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.9.1. Irregularidades en elevación.

Son todas aquellas irregularidades que se pueden presentar en las estructuras en el plano vertical y que de acuerdo a la NEC 2015 consisten en:

3.4.1.9.1.1. Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas

Se da cuando existen desfases entre los elementos verticales estructurales como las columnas, es decir no se encuentran alineados dentro del mismo plano y si estos desfases son mayores a la dimensión horizontal del elemento.

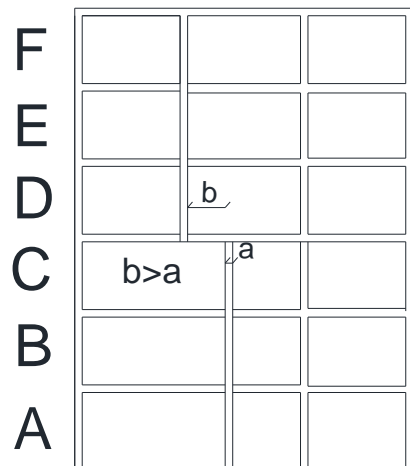


Figura 23: Irregularidad dada por ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.9.1.2. Piso débil, discontinuidad en la resistencia.

Esta irregularidad se da cuando la resistencia de un piso es menor al 70% de la del piso inmediato superior.

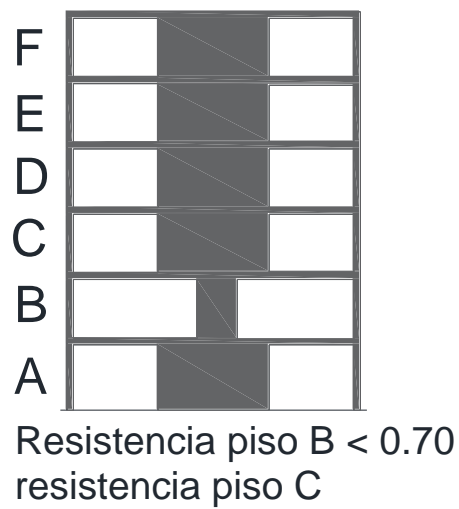


Figura 24: Irregularidad dada por discontinuidad en la resistencia

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.9.1.3. Columna corta.

Se da cuando los pisos no se encuentran al mismo nivel en el mismo plano, se debe evitar este tipo de configuraciones tanto en diseño como en construcción.

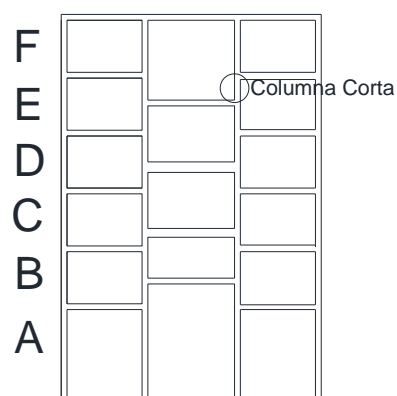


Figura 25: Irregularidad dada por Columna Corta

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.9.1.4. Piso flexible.

Se considera esta irregularidad cuando la rigidez lateral de un piso es menor al 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor al 80% del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.

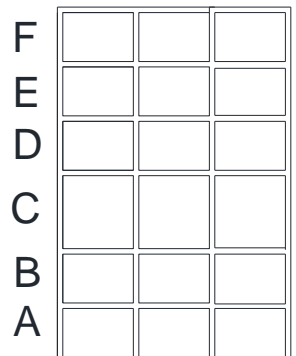


Figura 26: Irregularidad dada por piso Flexible

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.9.1.5. Distribución de masa.

Se considera irregular la estructura cuando la masa de cualquier piso es 1.5 veces mayor a uno de los pisos adyacentes, no se considera la cubierta.

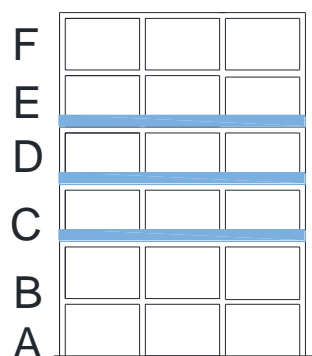


Figura 27: Irregularidad dada por distribución de masa

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.9.1.6. Irregularidad geométrica.

Se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es 1.3 veces mayor la dimensión del piso adyacente. $a > 1.3b$

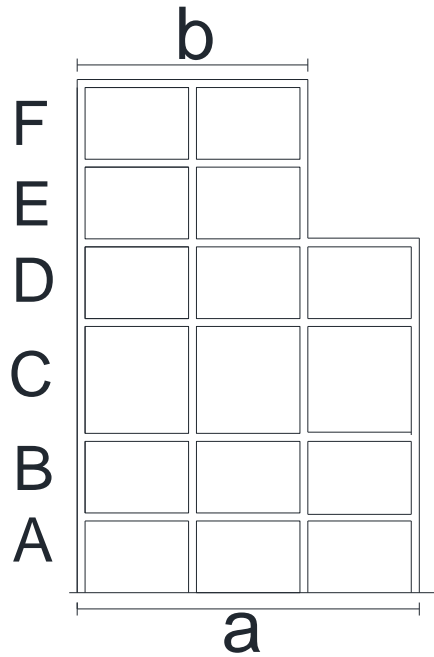


Figura 28: Irregularidad Geométrica

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.9.2. Irregularidades en planta.

Son todas aquellas irregularidades que se pueden dar en el plano horizontal de las estructuras, según la NEC (MIDUVI, 2015) consisten en:

3.4.1.9.2.1. Retrocesos excesivos en las esquinas.

Se da cuando existen entrantes excesivos en sus esquinas, se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el

15 % de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección entrante. $A > 0.15B$ Y
 $C > 0.15D$

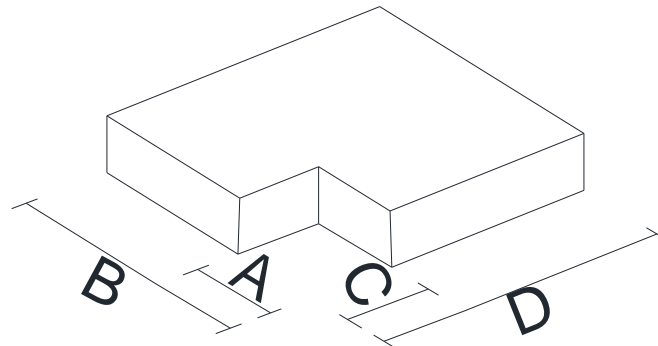


Figura 29: Retrocesos Excesivos en las Esquinas

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.9.2.2. Discontinuidades en el sistema de piso.

Se considera esta irregularidad cuando el piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.

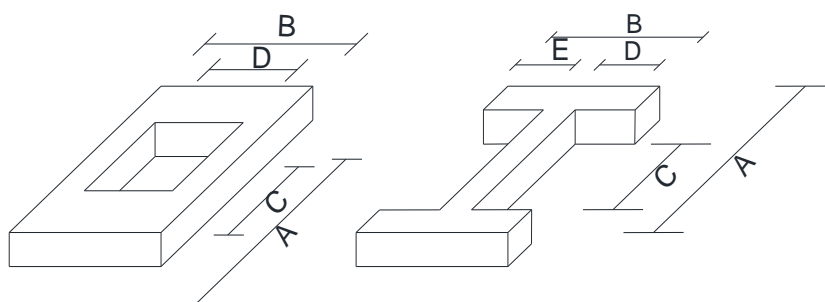


Figura 30: Discontinuidades en el sistema de piso

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.9.2.3. Ejes estructurales no paralelos.

Esta irregularidad se presenta cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura

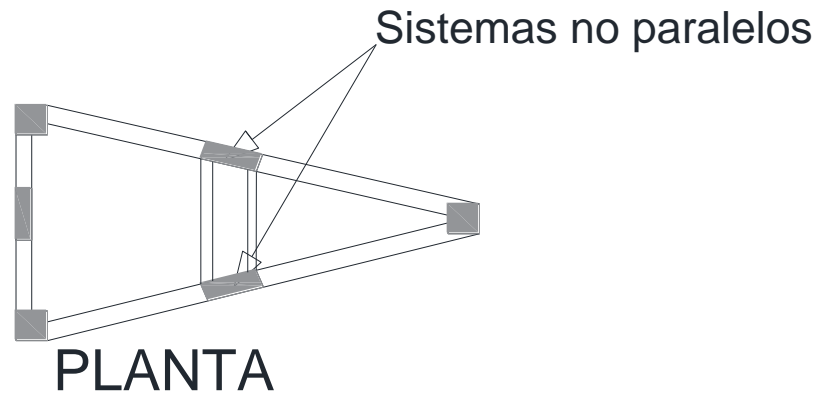


Figura 31: Ejes Estructurales no paralelos

Fuente: (MIDUVI, 2015)

3.4.1.10. Peligro de caída de objetos exteriores.

En esta sección se anotará todos aquellos elementos estructurales o no que pueden desprenderse de la estructura principal y que constituyen un riesgo para la edificación en estudio y aquellas adyacentes a esta.

Peligro de Caída de	<input type="checkbox"/> Chimenea sin soporte lateral	<input type="checkbox"/> Revestimiento Pesado
Objetos Exteriores:	<input checked="" type="checkbox"/> Parapetos	<input type="checkbox"/> Adiciones
	<input type="checkbox"/> Otro:	

Figura 32: Peligro de caída de objetos exteriores

Fuente: (FEMA, 2015)

Los elementos que presentan un mayor riesgo son los siguientes:

3.4.1.10.1. Chimeneas sin soporte lateral.

Son chimeneas que se construyeron anexadas a la estructura principal y no contienen un soporte lateral adecuado por lo que durante el movimiento provocado por el sismo es probable que se desprenda y caiga.

3.4.1.10.2. Revestimiento pesado.

Son todos aquellos elementos no estructurales como paredes de ladrillo o bloque que no se encuentran debidamente anclados y poseen el riesgo de caer,

3.4.1.10.3. Parapetos o muros.

Es aquella porción de la pared de la fachada que se extiende por sobre el techo, el principal problema es que se construye en base a bloque o ladrillos sin acero de refuerzo por lo que se puede fisurar o romper desprendiéndose de la estructura.

3.4.1.10.4. Adiciones.

Son todos aquellos elementos arquitectónicos que se agregan a la fachada y que por lo general no se encuentran debidamente anclados y corren el riesgo de desprenderse durante un sismo, también se incluyen aquellas construcciones como lavadoras o casas de máquinas en la parte superior que no forman parte del sistema estructural principal.

3.4.1.10.5. Otros.

De encontrarse otro elemento que pueda desprenderse y que no se haya mencionado se marcara en la ficha “otros” y se puede mencionar en el espacio dedicado a los comentarios.

3.4.1.11. Comentarios.

Esta sección está dedicada a anotar características importantes y relevantes que se encontraron durante la evaluación y que no pudieron ser marcados en la ficha tales como fisuras, irregularidades, materiales empleados, etc.

<p>COMENTARIOS: La estructura presenta un muro en su parte superior. No se encuentra registrada en el catastro</p>
--

Figura 33: Sección de Comentarios

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.12. Tipos de estructura y puntaje base.

De acuerdo con el FEMA (2015) existen 17 tipos de estructuras, se tiene que escoger aquel que corresponda con la estructura evaluada, el puntaje base es determinado de acuerdo a la ubicación de la zona sísmica, en este caso corresponde a la de alta sismicidad.

Las estructuras son las siguientes:

3.4.1.12.1. W1.

Corresponde al tipo de estructura ligera hecho de madera de un piso o más usado para vivienda.

3.4.1.12.2. W1A.

Estructura ligera hecha de madera usada para la construcción de viviendas multifamiliares en que el área del piso es mayor a 278 metros cuadrados.

3.4.1.12.3. W2.

Estructuras ligera hecha de madera destinada a un uso comercial o edificaciones industriales con un área de construcción mayor a 465 metros cuadrados.

3.4.1.12.4. S1.

Son edificaciones con pórticos resistentes a momento de acero.

3.4.1.12.5. S2.

Son estructuras que poseen pórticos resistentes a momento arriostrados de acero

3.4.1.12.6. S3.

Edificaciones o estructuras de metal ligero

3.4.1.12.7. S4.

Sistema estructural formado por pórticos resistentes de acero que contienen muros de corte de concreto.

3.4.1.12.8. S5.

Edificaciones con pórticos de acero y muros de mampostería no reforzada.

3.4.1.12.9. C1.

Pórticos resistentes a momento de concreto.

3.4.1.12.10. C2.

Edificaciones con muros de corte de concreto.

3.4.1.12.11. C3.

Estructura que poseen pórticos de concreto con muros de mampostería no reforzada.

3.4.1.12.12. PC1.

Edificios o estructuras construidas bajo el método de TILT UP, que consiste en moldear elemento de hormigón en horizontal para luego levantarlos y ubicarlos de manera vertical en el edificio.

3.4.1.12.13. PC2.

Edificios o estructuras realizadas con concreto prefabricados.

3.4.1.12.14. RM1.

Estructuras con mampostería reforzada, con pisos y diafragmas de cubierta flexibles.

3.4.1.12.15. RM2.

Estructuras con mampostería reforzada, con pisos y diafragmas de cubierta rígidos.

3.4.1.12.16. URM.

Estructuras que poseen paredes de apoyo de mampostería no reforzada.

3.4.1.12.17. MH.

Viviendas prefabricadas.

3.4.1.13. Inspecciones internas.

De ser posible se accederá al interior de la estructuras, de esta manera se podrá tener una mejor visión del estado de la estructura, de sus componentes como vigas y columnas y si presentan algún tipo de daño o deterioro.

También sirve para determinar con mayor precisión el sistema estructural que posee y poder encasillarlo de una mejor manera en la ficha.

En algunos casos no es posible entrar en la estructura por algún motivo, sin embargo esta revisión se la puede realizar acercándose lo más posible a la estructura sin entrar a ella a través de las ventanas que permitan ver su interior.

3.4.1.14. Determinación del puntaje de la estructura.

Esta sección es usada para determinar el puntaje final de la estructura con respecto al puntaje base y a los modificadores del puntaje.

3.4.1.14.1. Puntaje base.

El puntaje base es aquel asignado al tipo de estructura, es el puntaje que va a ser modificado de acuerdo a las características que presente dicha estructura como irregularidades, tipo de suelo, etc.

3.4.1.14.2. Modificadores del puntaje.

Son los puntajes asignados a las irregularidades tanto en planta como en elevación, si las estructuras fueron diseñadas con un código anterior al actual, también depende del tipo de suelo. Dependiendo de las características que presenten por ejemplo si es irregularidad en planta o elevación tendrá un signo negativo indicando que este valor se

debe restar al puntaje base e indica que afecta negativamente a la estructura, por el contrario si afecta de manera positiva no tendrá ningún signo, sin embargo esto indica que este valor se sumará al puntaje base. En algunos casos no existe el puntaje y en su lugar están las letras N/A determinando que para dicha estructura el puntaje no aplica.

3.4.1.14.2.1. Irregularidad en elevación.

De presentarse alguna irregularidad en elevación de las descritas en esta investigación se tomaran como irregularidades severas, sin embargo si se presentase alguna irregularidad pero está por debajo de los límites descritos aquí se marcará como irregularidad moderada.

3.4.1.14.2.2. Irregularidad en planta.

Son todas aquellas irregularidades en planta descritas previamente en esta investigación.

3.4.1.14.2.3. Pre-Código.

Este modificador puntúa a las estructuras que fueron construidas antes de la modificación del Código Ecuatoriano de la Construcción en el año 2001 que se ha tomado como referencia en cuanto a su mejoramiento ante el desempeño sísmico, en algunos casos se habrán diseñado sin seguir ningún tipo de norma o código, estas estructuras también se evalúan bajo este modificador del puntaje.

3.4.1.14.2.4. Marca posterior.

Son todas aquellas estructuras diseñadas y construidas bajo la normativa de sismo resistencia propuesta en el Código Ecuatoriano de la Construcción y posterior Norma

ecuatoriana de la Construcción, se toma como año aquel en que se aprobó y mejoró este código, es decir el año 2001.

3.4.1.14.2.5. Tipo de suelo.

Existen tres modificadores del puntaje, si el suelo es tipo A o B se elegirá esta opción, si el suelo es del tipo E y la estructura presenta de 1 a 3 pisos se marcará el puntaje en esta sección, si por otro lado el suelo es tipo E pero la estructura es mayor de tres pisos se marcará esta opción, es importante marcar que si el tipo de suelo es C o D no se marcará nada, y en caso de presentarse suelo tipo F se deberá marcar en la sección de comentarios, en otras amenazas y en recomendar una evaluación más detallada presentadas en esta ficha.

3.4.1.14.3. Puntaje mínimo.

Dado que se puede dar el caso que el puntaje final sea negativo, indicando que la probabilidad de colapso es mayor al 100% siendo esto imposible, se provee un puntaje mínimo en el que se toman en cuenta todos los efectos negativos que puede presentar la estructura.

3.4.1.15. Evaluaciones finales de las estructuras ante fenómenos naturales.

3.4.1.15.1. Determinando el puntaje final de la evaluación de la estructura debido a un sismo.

Se empieza por determinar cuál es el sistema estructural resistente sísmico del edificio, casa o vivienda que se está analizando en conjunto con los materiales empleados en su construcción.

Dependiendo del tipo de estructura la ficha propone un puntaje base que debe ser seleccionado en relación al edificio, casa o vivienda que es evaluada.

A continuación este puntaje se modificará, ya sea sumando o restando, al puntaje base dependiendo de las particularidades que tenga la estructura como irregularidades en planta, irregularidades en elevación, tipo de suelo, etc.

Al término de la evaluación se obtendrá un puntaje final, usualmente se encuentran en un rango entre 0 y 7, siendo los puntajes más altos los correspondientes a un comportamiento excepcional de la estructura frente a un evento sísmico con bajas probabilidades de colapso.

Puntajes entre 3 y 5 indicarían un comportamiento adecuado de las estructuras frente a un sismo.

Edificaciones con puntajes finales iguales o menores a 2 deben ser considerados para una evaluación mucho más exhaustiva por parte de un profesional en diseño sísmico.

En el caso de puntajes negativos empleará el puntaje mínimo provisto en la debida sección de esta ficha.

Es importante señalar que esta evaluación permite determinar la probabilidad de colapso total o parcial de una estructura, y no como un indicador de la posibilidad de volver a usar la estructura luego de un sismo.

El puntaje final al término de la evaluación PFE permitirá determinar la vulnerabilidad de la estructura en análisis.

3.4.1.15.2. Evaluación de la estructura debido a la afectación por parte de lahares.

La evaluación de la estructura en caso de producirse un lahar es determinado mediante la altura de la misma. Para poder determinar la altura debemos multiplicar el número de pisos por 3.00 metros ya que en la mayoría de los casos las estructuras son empleadas para vivienda y negocios pequeños como tiendas, etc.

Para determinar el grado de afectación se han propuesto tres niveles:

1. Estructuras sin ninguna afectación.

Son aquellas estructuras que probablemente no se verían afectadas por el lahar pero que sin embargo se encuentran cerca de su flujo y dentro del área de estudio.

2. Estructura sumergida parcialmente.

Son aquellas estructuras afectadas por el lahar y cuya afectación se encuentra a partir del primer piso hasta el penúltimo de la misma.

3. Estructura sumergida totalmente.

Se considera que la estructura está sumergida completamente cuando el flujo del lahar compromete al último piso ya sea parcial o totalmente.

3.4.1.16. Registrando la extensión de la revisión.

En este campo marcaremos la revisión de la estructura registrando si se evaluó exteriormente, interiormente, los planos, la obtención del tipo de suelo y amenazas geológicas.

EXTENSIÓN DE LA REVISIÓN		
Exterior:	<input type="checkbox"/> Parcial	<input checked="" type="checkbox"/> Lados
		<input checked="" type="checkbox"/> Aérea
Interior:	<input type="checkbox"/> Ninguno	<input checked="" type="checkbox"/> Visible
		<input type="checkbox"/> Interna
Revisión de Planos:	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
Fuente del tipo de suelo:	<u>Ensayo S.P.T</u>	
Fuente de Peligro Geológico:	<u>IGEPN</u>	

Figura 34: Extensión de la Revisión

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.17. Otras amenazas.

En este campo se marcará si existen otras amenazas a la estructura como golpeteo, si presenta partes de la estructura que puedan desprenderse y caer sobre otras edificaciones, si se encontrasen fallas geológicas o se tratase de suelo tipo F o si existe daño significativo o deterioro en el sistema estructural.

OTRAS AMENAZAS
Marcar amenazas que ameriten una evaluación estructural más detallada.
<input type="checkbox"/> Potencial Golpeteo
<input type="checkbox"/> Peligro de Caída de Partes de una Estructura Adjunta
<input type="checkbox"/> Peligro Geológico o Suelo Tipo F
<input type="checkbox"/> Daño Importante o Deterioro del Sistema Estructural

Figura 35: Otras Amenazas (Ficha)

Fuente: (FEMA, 2015)

3.4.1.18. *Determinando la acción requerida.*

Una vez finalizada la evaluación de la estructura se determina a manera de recomendación que tareas se deben realizar en base a lo observado, estos puntos son:

DETERMINAR LA ACCIÓN REQUERIDA

¿Se requiere de una evaluación estructural detallada?

☐ Sí, Tipo de edificación diferente a los propuestos

☒ Sí, puntaje menor al límite (<2)

☒ Sí, otras amenazas presentes

☐ No

¿Recomendar una evaluación detallada de elementos no estructurales? (marcar uno)

☐ Sí, peligros no estructurales identificados deben ser evaluados

☒ No, peligros no estructurales encontrados pero sus daños pueden ser mitigados, una evaluación detallada no es necesaria

☐ No, no se identificó peligros no estructurales ☐ NSS

Figura 36: Determinar la Acción Requerida

Fuente: (FEMA, 2015)

Se requiere de una evaluación detallada

- Sí, toda estructura diferente a las propuestas en esta investigación.
- Sí, puntaje menos del límite, para este caso puntajes iguales o menores a 2.
- Sí, existen otras amenazas como la presencia de lahares que deben ser analizadas

con más detalle.

- No, una evaluación más detallada no es necesaria.

1. Recomendar evaluar elementos no estructurales

- Sí, de existir amenazas de elementos no estructurales marcar este cuadro.
- No, existen amenazas no estructurales pero estos pueden ser mitigados.
- No, no existe ninguna amenaza por parte de elementos no estructurales.

- NSS, siglas para No Se Sabe, sirve para señalar que no se pudo determinar si existe o no algún tipo de amenaza por parte de elementos no estructurales.

Capítulo IV


Resultados de las estructuras evaluadas mediante fichas

4.1. Zona sísmica de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 y

FEMA P – 154

Se ha determinado de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015) y al FEMA P – 154 (2015) que la zona de estudio pertenece a una región de peligro sísmico alto.

Tabla 9: *Valores Correspondientes entre la NEC 2015 y FEMA P – 154 de la respuesta de Aceleración Espectral para determinar la Región Sísmica*

		NEC	FEMA P -154
Región Sísmica	Valor del Factor Z	S1	
 Alta	0.4 g	0.4 g	

Nota: Valor de 0.4 g corresponde a una región de peligro sísmico alto. Fuente: (MIDUVI, 2015; FEMA, 2015)

4.2. Tipo de suelo

4.2.1. Ensayo SPT

Para determinar el tipo de suelo se ha realizado el ensayo del SPT en una zona cerca de las estructuras evaluadas como se puede observar en el siguiente gráfico:

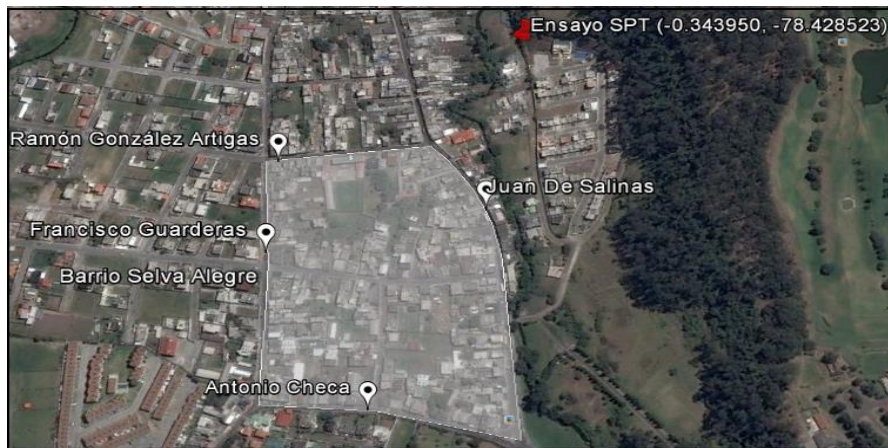


Figura 37: Localización del Ensayo SPT con respecto a la Zona de Estudio

Fuente: (Google Earth, 2016)

Los resultados de este ensayo se muestran a continuación:

Tabla 10: Resultado del Ensayo SPT

	Perforación 1	Número de Golpes			N(S.P.T)	Símbolo
	(m)	15cm	30cm	45cm		
N.F. ←	1.0	1	2	2	4	O
	2.0	2	1	1	2	OL
	3.0	2	1	1	2	ML
	4.0	1	1	2	3	ML
	5.0	4	2	19	21	SM
	6.0	8	18	22	40	SM



Figura 38: Fotos de la realización del Ensayo SPT en la Zona de Estudio

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015) y una vez determinado el número de golpes del S.P.T observamos que el perfil del suelo es tipo E.

Tabla 11: Tipo del Perfil del suelo

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
E	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 metros de arcillas blandas	IP>20 W≥40%

Nota: El tipo de Perfil del suelo para la zona de Estudio es E de acuerdo al resultado del ensayo S.P.T realizado en el Barrio Selva Alegre. Fuente: (MIDUVI, 2015)

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2015) y al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, una vez determinado el número de golpes del S.P.T y realizado los ensayos en laboratorio observamos que el perfil del suelo es tipo E.



Figura 39: Fotos de los ensayos en laboratorio de las muestras recuperadas del SPT

Se toma en consideración este tipo de perfil debido a que las estructuras probablemente están cimentadas a una profundidad no mayor a 3 metros, y al observar los resultados del ensayo se tiene que en los 4 primeros metros son suelo orgánico y arcillas blandas que corresponden a esta clasificación.



Figura 40: Fotos de las muestras recuperadas del ensayo SPT

En la siguiente tabla podemos observar los coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s que sirven para elaborar el espectro de aceleraciones para diseño sísmo resistente de acuerdo al tipo de suelo que se obtuvo del ensayo S.P.T y la clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 12: Coeficientes de Perfil de suelo F_a , F_d y F_s

Coeficientes de Perfil de suelo F_a , F_d y F_s			
Tipo de Perfil de Subsuelo	Zona V		
	Factor $Z = 0.4$		
	F_a	F_d	F_s
	Coficiente de amplificación del suelo en la zona de periodo corto	Desplazamientos para diseños en roca	Comportamiento no lineal de los suelos
E	1.14	1.6	1.9

Nota: Coeficientes de amplificación del suelo para la elaboración del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sísmo de diseño. Fuente: (MIDUVI, 2015)

4.3. Resultado de las fichas de evaluación

4.3.1. Clasificación de las estructuras de acuerdo al número de pisos, altura

Dentro de la zona de estudio se existen 4 manzanas dentro de las cuáles existen 255 estructuras que han sido evaluadas, a continuación se presenta de forma estadística el número de estructuras, su respectivo número de pisos y su altura correspondiente.

Tabla 13: *Clasificación de las Estructuras de acuerdo al número de pisos*

Número de Pisos	Número de Estructuras	Altura	%
Un piso	120	3	47
Dos pisos	116	6	45
Tres pisos	17	9	7
Cuatro pisos	2	12	1
Total	255		100

Nota: Clasificación estadística de las estructuras de acuerdo al número de pisos que presentan.

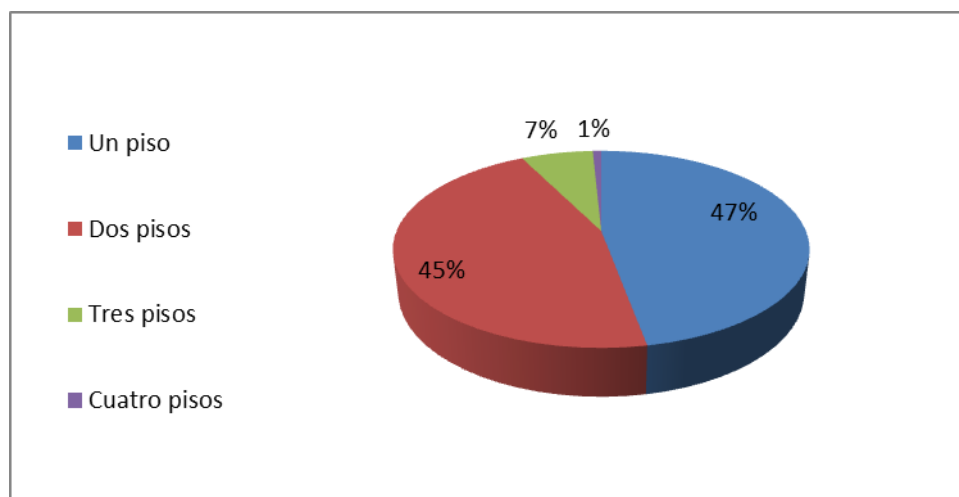


Figura 41: Porcentajes de las estructuras que presentan de uno a cuatro pisos

4.3.2. Afectación de las estructuras según los mapas de riesgos por lahares producidos por la erupción del volcán Cotopaxi en los años 2004, 2014 y 2017

Se ha clasificado a las estructuras de acuerdo al tipo de afectación debido a la formación de un posible lahar producto de la erupción del volcán Cotopaxi.

4.3.2.1 Estructuras Afectadas según el Mapa de Riesgos 2004



Figura 42: Mapa de Riesgos de lahares del año 2004 en la zona de Selva Alegre

Fuente: (Secretaria de Gestión de Riesgos, 2017)

Tabla 14: Estructuras Afectadas por lahares según mapa de riesgos 2004

Estructuras Afectadas por Lahares	Número de Estructuras	%
Estructuras Sin Ninguna Afectación	24	9
Estructuras Sumergidas Parcialmente	0	-
Estructuras Sumergidas Totalmente	231	91
Total	255	100

Nota: Existen 231 estructuras afectadas por lahares que pueden quedar sumergidas totalmente

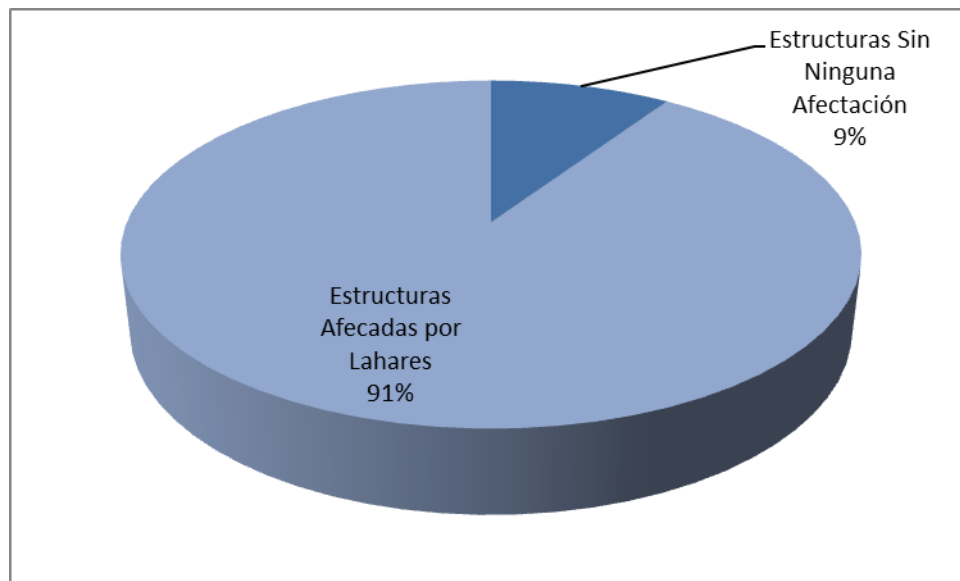


Figura 43: Porcentajes de estructuras afectadas por lahares según mapa de riesgos 2004

4.3.2.2. Estructuras afectadas según el Mapa de Riesgos año 2014.

De acuerdo con el mapa de Riesgos del 2014 para la zona de análisis el 100% de las estructuras quedarían sumergidas bajo el flujo del lahar.

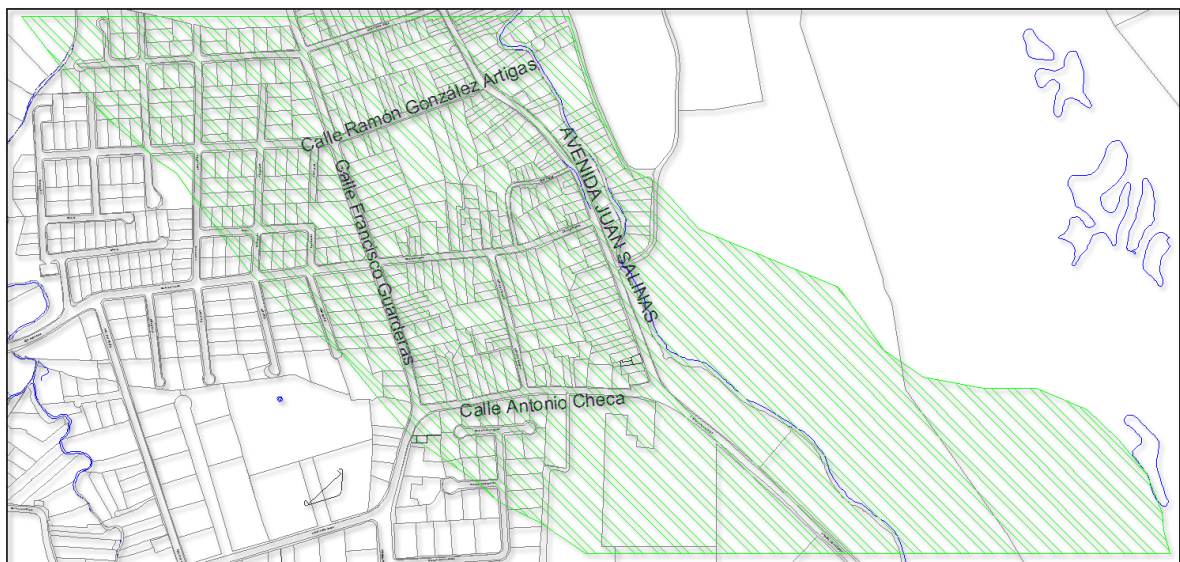


Figura 44: Mapa de Riesgos de lahares del año 2014 en la zona de Selva Alegre

Fuente: (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

Tabla 15: *Estructuras por lahares según mapa de riesgos 2014*

Estructuras Afectadas por Lahares	Número de Estructuras	%
Estructuras Sin Ninguna Afectación	0	-
Estructuras Sumergidas Parcialmente	0	-
Estructuras Sumergidas Totalmente	255	100
Total	255	100

Nota: De acuerdo al Mapa de Riesgos del año 2014 para la zona de Selva Alegre existe 255 estructuras que se verían sumergidas totalmente por el flujo de lahares producidos por el volcán Cotopaxi.

4.3.2.3. Estructuras afectadas según el Mapa de Riesgos año 2017.

De acuerdo a la última actualización del mapa de Riesgos las 255 estructuras analizadas quedarían sumergidas bajo el flujo del lahar.

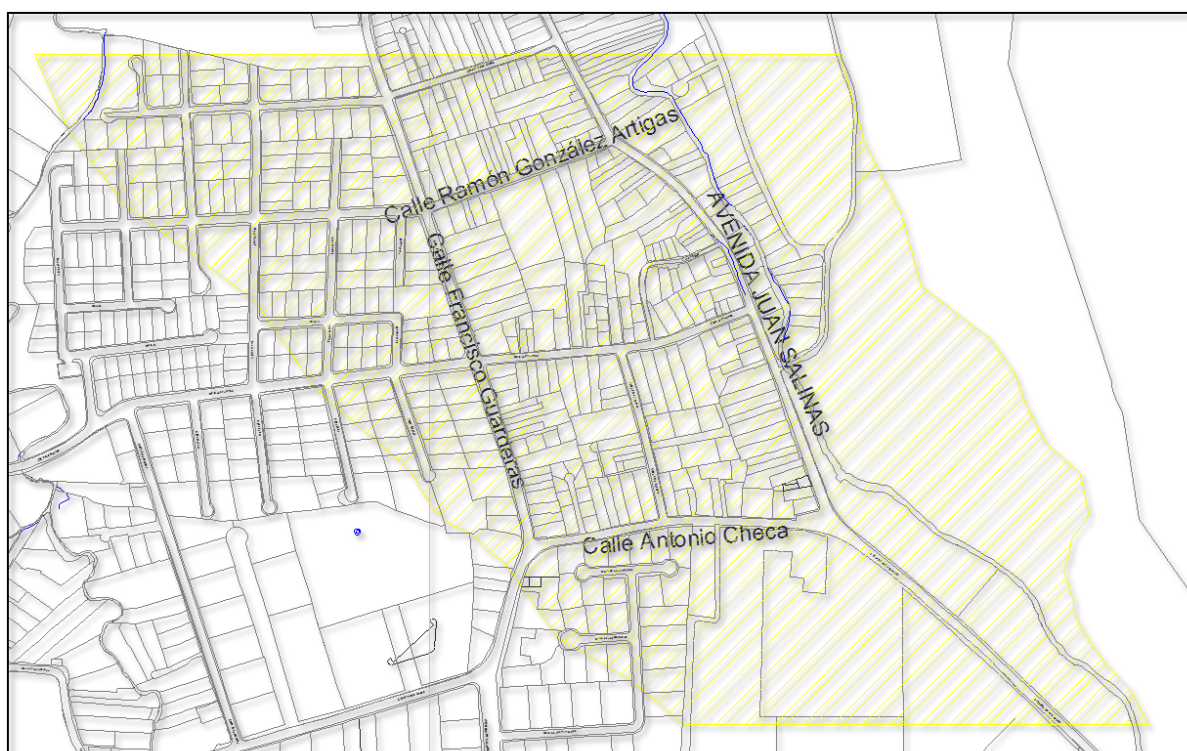


Figura 45: Mapa de Riesgos de lahares del año 2017 en la zona de Selva Alegre

Fuente: (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

Tabla 16: *Estructuras por lahares según mapa de riesgos 2017*

Estructuras Afectadas por Lahares	Número de Estructuras	%
Estructuras Sin Ninguna Afectación	0	-
Estructuras Sumergidas Parcialmente	0	-
Estructuras Sumergidas Totalmente	255	100
Total	255	100

Nota: Para la zona de estudio que corresponde al Barrio Selva Alegre existen 255 estructuras que se estarían afectadas por los lahares de acuerdo al Mapa de Riesgos del año 2017.

4.3.2.4. Superposición de los Mapas de Riesgos de los años 2004, 2014 y 2017

En la siguiente figura podemos observar la superposición de los probables flujos del lahar para los años 2004 (rojo), 2014 (verde) y 2017 (amarillo), la última actualización del mapa afecta al 100% de las estructuras analizadas.



Figura 46: Superposición de Mapas de Riesgos de lahares de los años 2004(rojo), 2014(verde) y 2017(amarillo) en la zona de Selva Alegre.

Fuente: (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

En este Mapa se muestra como el flujo de lahares ha cambiado a través de los años y la actualización de los nuevos estudios.

4.3.3. Clasificación de las estructuras de acuerdo al año de construcción

En el siguiente cuadro se presenta el número de estructuras de acuerdo al año en el que fueron construidas, también se incluye un cuadro indicando el número de estructuras que se construyeron a partir del año 2001, año que se ha tomado debido a que el Código Ecuatoriano de la Construcción se ha actualizado en cuanto al diseño sísmico resistente.

Tabla 17: *Clasificación de las Estructuras dependiendo del año en que se construyeron y porcentaje de aquellas que se construyeron a partir del año 2001*

Años de Construcción	Número de Estructuras	%
De 1840 a 1980	25	10
De 1981 a 1990	59	23
De 1991 a 2000	98	38
De 2001 a 2010	66	26
De 2011 a 2016	7	3
Total	255	100

Número de estructuras construidas a partir del 2001	%
73	29

Nota: Existe un 29% de las estructuras construidas a partir de año 2001 que se asume que fueron concebidas con el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC 2001

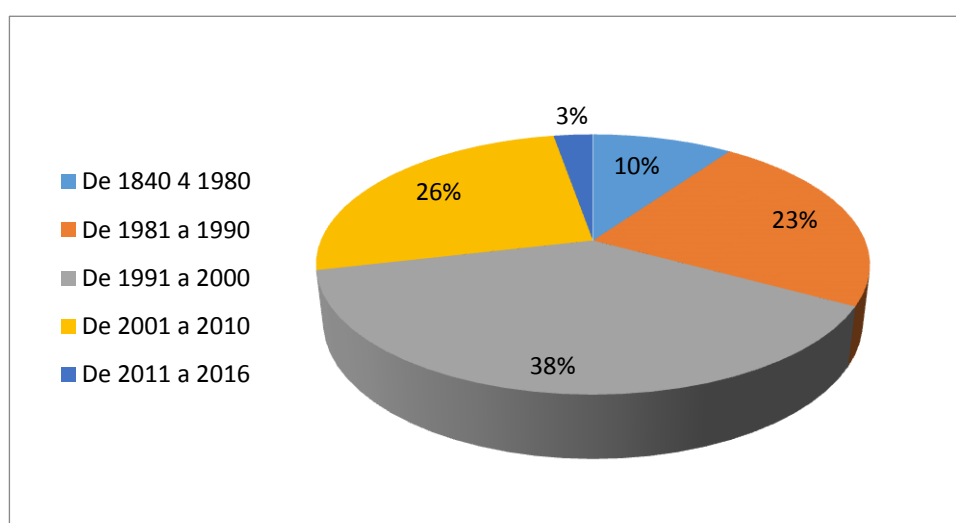


Figura 47: Clasificación en porcentaje de las estructuras según su año de construcción

4.3.4. Clasificación de las estructura si presentan construcciones adicionales

En el siguiente gráfico podemos observar el número de estructuras que presentaron construcciones adicionales tales como levantamiento de pisos que no se contemplaban en la estructura original.

Tabla 18: *Estructuras que presentan Construcciones Adicionales*

Construcción Adicional	Número de Estructuras	%
No existe Construcciones adicionales	233	91
Si existen Construcciones adicionales	22	9
Total	255	100

Nota: Existen 22 Estructuras que presentan construcciones adicionales y que corresponden a un 9% del total.

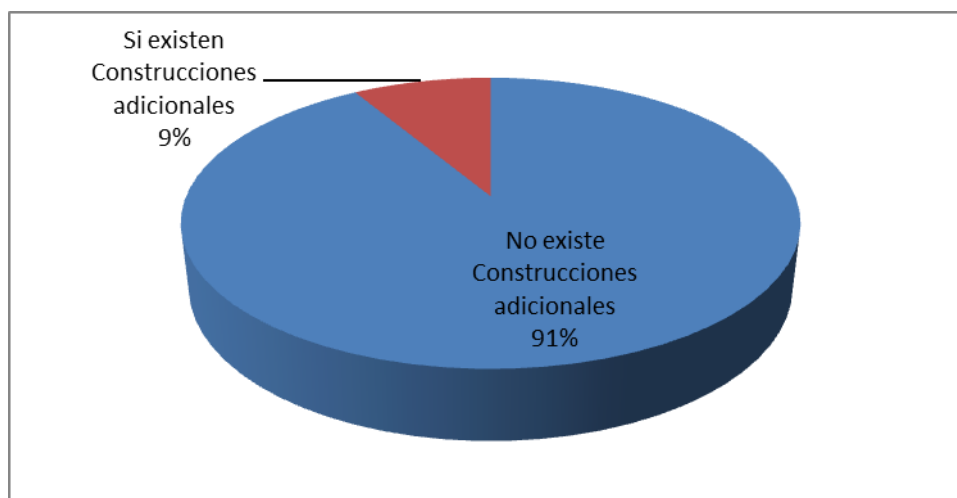


Figura 48: Porcentajes de las estructuras que presentan construcciones adicionales frente a las que no lo hacen.

Tabla 19: *Clasificación de las estructuras de acuerdo al número de pisos adicionales construidos*

Número de pisos adicionales	Estructuras
1 piso	20
2 pisos	2

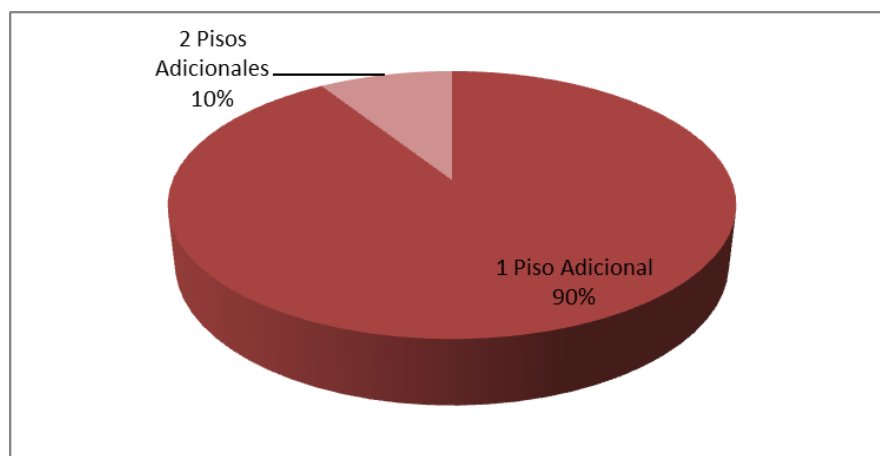


Figura 49: Porcentajes de las estructuras que presentan la construcción de 1 y 2 pisos adicionales

4.3.5. Clasificación de las estructuras de acuerdo a su ocupación

Las estructuras evaluadas corresponden en su mayoría a viviendas, sin embargo existen otras construcciones con diferentes ocupaciones, a continuación se presentan la clasificación de acuerdo a este criterio.

Tabla 20: *Clasificación de las estructuras de acuerdo a su ocupación*

Ocupación	Número de Estructuras	%
Comercial	9	4
Reuniones	1	0.5
Oficina	1	0.5
Almacén	3	1
Escuela	12	5
Residencial	208	81
Residencial/Comercial	21	8
Sin Construcción	3	-
Servicios de Emergencia	-	-
Industrial	-	-
Utilidad	-	-
Histórico	-	-
Gobierno	-	-
Refugio	-	-
Total	255	100

Nota: El 81% de las estructuras son del tipo residencial.

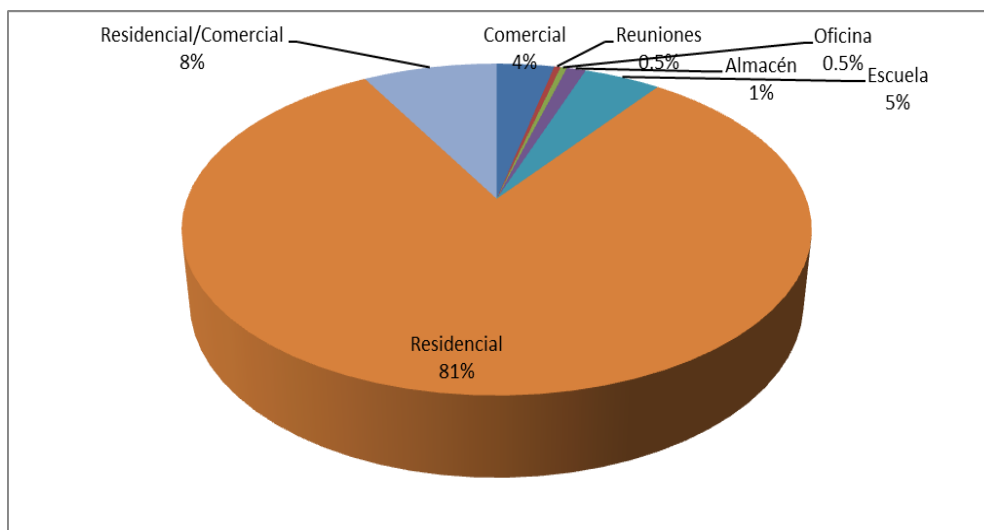


Figura 50: Porcentajes de las estructuras de acuerdo a su ocupación.

4.3.6. Clasificación de las estructuras de acuerdo a la proximidad entre ellas

Al estar unas estructuras muy próximas entre sí pueden ocurrir ciertos problemas durante eventos sísmicos, los más importantes son el golpeteo y la caída de objetos al desprenderse de una construcción más alta sobre otra.

El siguiente cuadro muestra el número de estructuras que presentan estas condiciones.

Tabla 21: Estructuras que presentan un posible Golpeteo y Caída de elementos de una estructura más alta

Proximidad					
Golpeteo			Caída de elementos de una estructura más alta		
		%			%
Sí	95	37	Sí	31	12
No	160	63	No	224	88
Total	255	100	Total	255	100

Nota: el 37% del total de las estructuras presentan el problema de un posible golpeteo en tanto que solo el 12 % del total presenta caída de elementos de una estructura más alta en el caso de que ocurra un sismo

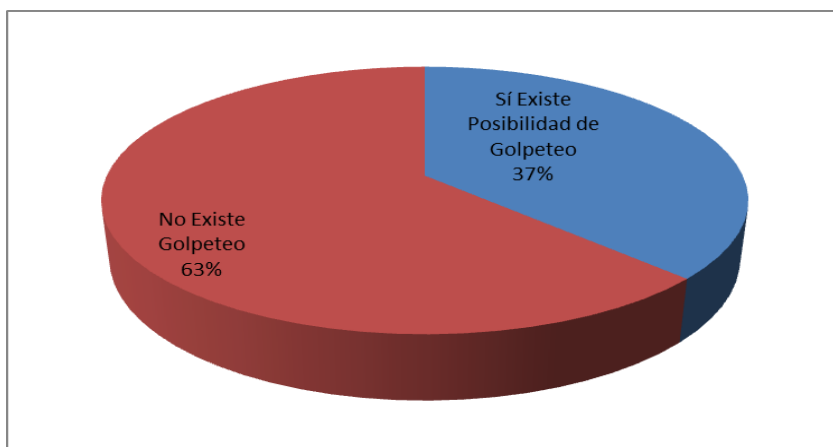


Figura 51: Porcentaje de las estructuras que presentan golpeteo

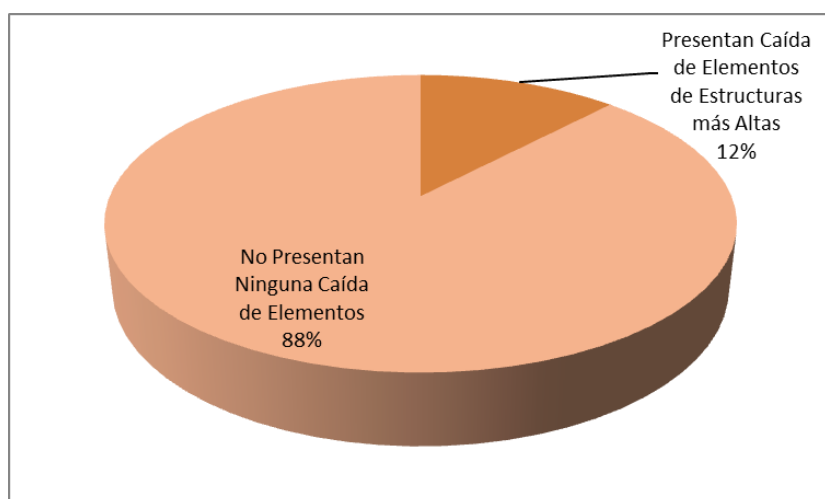


Figura 52: Porcentaje de las estructuras que presentan caída de elementos de estructuras más altas.

4.3.7. Clasificación de las estructuras de acuerdo a las irregularidades que presentan.

Las construcciones pueden presentar irregularidades tanto en planta como en elevación que afectan el desempeño ante un evento sísmico y puede comprometer la estructura haciéndola un peligro para la vida de las personas, a continuación se ha clasificado a las estructuras que presentan este tipo de irregularidades.

Tabla 22: *Estructuras que presentan Irregularidades tanto en planta como en elevación*

Irregularidades En Las Estructuras		
	Número de Estructuras	%
Sí presentan Irregularidades	44	17
No presentan Irregularidades	211	83
Total	255	100

Nota: Solo un 17% de las estructuras presentan algún tipo de irregularidad

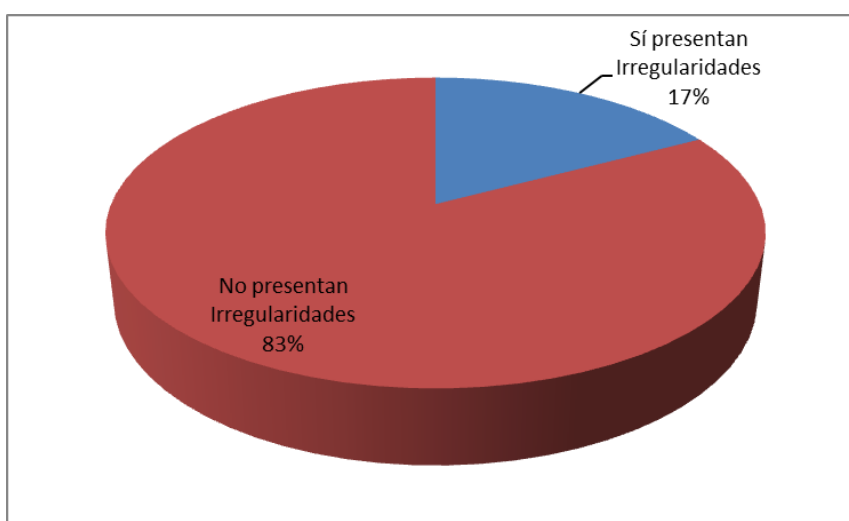


Figura 53: Porcentaje de estructuras que presentan irregularidades.

Tabla 23: Estructuras que presentan irregularidades en Planta

Irregularidades En Planta		
Tipo	Número de Estructuras	%
Retroceso Excesivo en las Esquinas	32	71
Ejes Estructurales No Paralelos	1	2
Total	33	

Nota: Existen 33 estructuras que presentan algún tipo de irregularidad en planta

Tabla 24: Estructuras que presentan irregularidades en Elevación

Irregularidades en Elevación				
Tipo	Número de Estructuras	Severa	Moderada	%
Irregularidad Geométrica	12	7	5	27

Nota: Existen 12 estructuras que presentan irregularidades en elevación

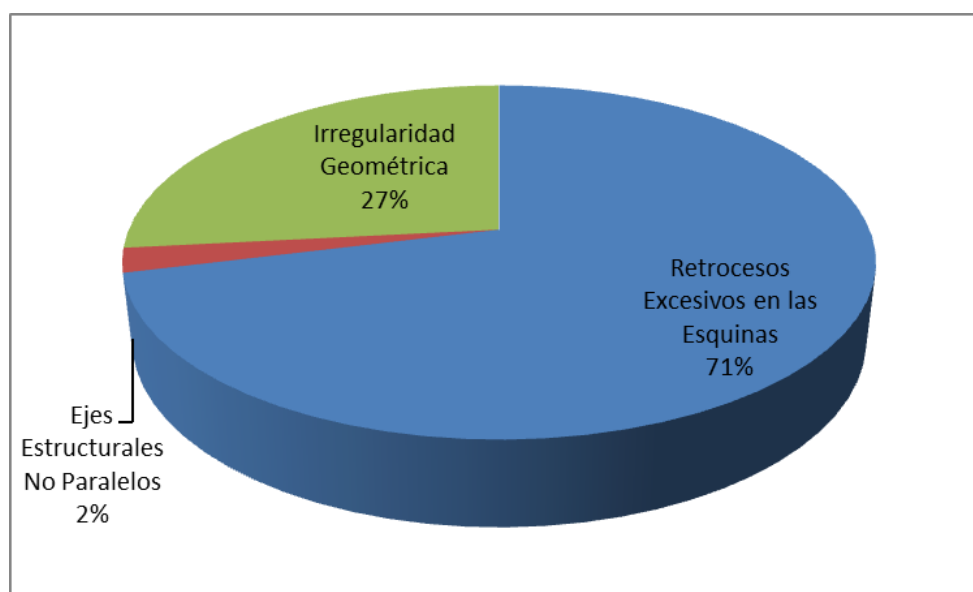


Figura 54: Porcentaje de las estructuras que presentan irregularidades en su configuración estructural.

4.3.8. Clasificación de las Estructuras que presentan Caída de Objetos Exteriores.

Esta clasificación representa a aquellas construcciones cuyos elementos no pertenecen al sistema estructural principal o que son del tipo arquitectónico y que pueden desprenderse durante un sismo afectando tanto a las personas como a las edificaciones próximas a ellas.

Tabla 25: *Estructuras que presentan caída de objetos exteriores*

Caída de Objetos Exteriores		
Tipo	Número de Estructuras	%
Chimenea Sin Soporte Lateral	1	0.5
Revestimiento Pesado	12	5.0
Parapetos / Muros	119	46.0
Adiciones/ Lavadoras / Casa de Máquinas	22	9.0
Otro / Tejas / Cubierta	21	8.0
Parapetos/Adiciones	1	0.5
Parapetos/Revestimiento Pesado	1	0.5
Parapetos/Chimenea Sin Soporte Lateral	1	0.5
No Presentan Caída de Objetos Exteriores	77	30.0
Total	255	100.0

Nota: El 70% de las estructuras presentan una posible caída de objetos exteriores durante un sismo

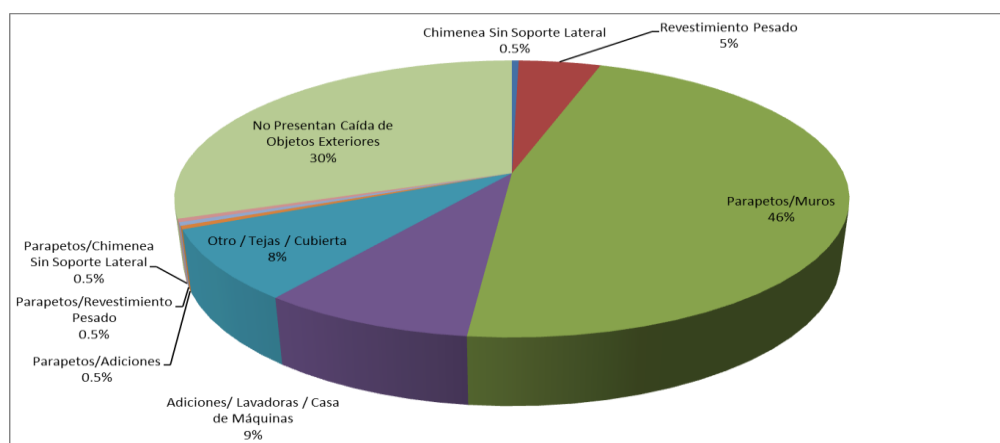


Figura 55: Porcentaje de las estructuras que presentan caída de objetos exteriores frente a aquellas que no.

4.3.9. Clasificación de las estructuras que se poseen registro catastral

Las construcciones deben poseer un registro catastral que permita identificarlas como legales es decir que cuenten con los permisos necesarios para su edificación y posterior uso, sin embargo existen construcciones que no poseen un registro catastral, es decir que no se encuentran legalizadas por el GADMUR, a continuación se presentan los resultados de las edificaciones que poseen catastro y aquellas que no.

Tabla 26: *Estructuras que presentan registro Catastral*

Estructuras Con Registro Catastral		
	Número de Estructuras	%
Estructuras que Sí Presentan Catastro	223	87
Estructuras Sin Catastro	32	13
Total	255	100

Nota: existen 32 estructuras que corresponden al 13% del total que no presentan catastro

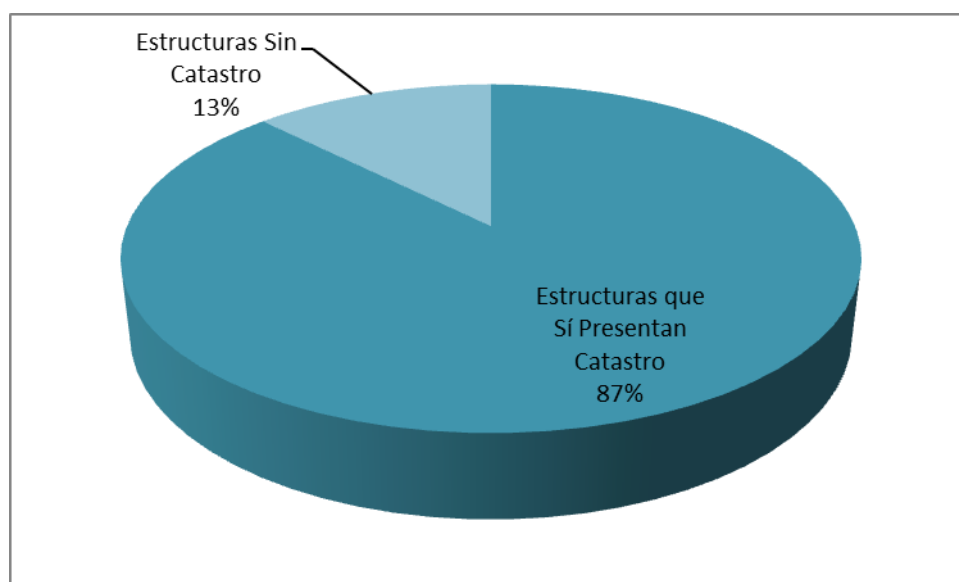


Figura 56: Porcentaje de estructuras que presentan catastro frente a aquellas que no lo tienen.

4.3.10. Clasificación de las estructuras de acuerdo al sistema estructural que poseen y sus materiales de construcción.

No todas las construcciones poseen un sistema estructural único ni tampoco se encuentran construidas con los mismos materiales, tener un sistema estructural determinado implica un nivel de desempeño diferente frente a un sismo que se ve influenciado también por los materiales empleados en su construcción.

Tabla 27: *Clasificación de las estructuras según su Sistema Estructural*

Clasificación Según su Sistema Estructural		
Tipos de Estructura	Número de Estructuras	%
C3	205	80
URM	49	19
S3	1	1
Total	255	100

Nota: El 80% de las Estructuras Presenta una configuración C3 correspondiente a construcciones de hormigón armado.

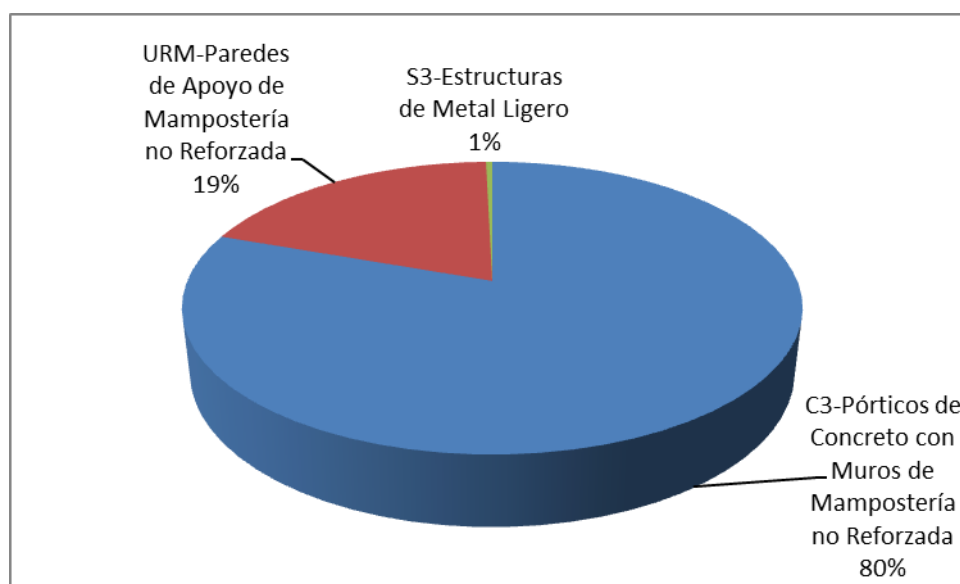


Figura 57: Porcentaje de las estructuras de acuerdo a su sistema estructural.

Tabla 28: *Clasificación de las Estructuras de Acuerdo a los Materiales de Construcción Empleados.*

Clasificación Según sus Materiales de Construcción		
Materiales de Construcción	Número de Estructuras	%
Estructuras de Bloque Sin Refuerzo	11	4
Adobe con Cubierta de Tejas	33	13
Estructuras de Hormigón y Perfiles Metálicos	4	2
Hormigón Armado	196	77
Estructuras de Ladrillo	2	1
En Construcción/Hormigón Armado	9	3
Total	255	100

Nota: Existen 33 estructuras hechas de adobe y 11 de bloque sin refuerzo que son las más vulnerables ante eventos sísmicos.

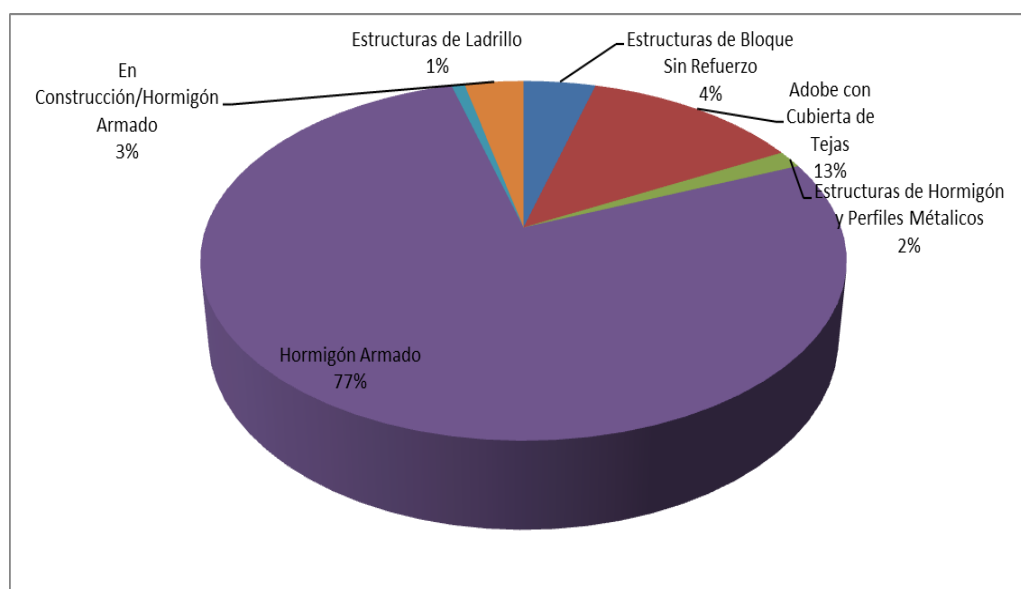


Figura 58: Porcentajes de las estructuras de acuerdo a su material de construcción.

4.3.11. Clasificación de las estructuras de acuerdo al puntaje final de la evaluación

Las estructuras son evaluadas mediante un puntaje que determina que tan vulnerables son ante un evento sísmico de acuerdo a un límite establecido que para la presente investigación es igual a 2. A continuación se presenta la clasificación de las estructuras de acuerdo a este criterio.

Tabla 29: *Clasificación de las estructuras de acuerdo al puntaje al final de la evaluación*

Clasificación de las Estructuras Según el Puntaje Final de la Evaluación		
Límite del Puntaje ≥ 2	Número de Estructuras	%
Estructuras que No Superan el Límite	254	99.5
Estructuras que Superan el Límite	1	0.5
Total	255	100

Nota: el 99.5 % de las estructuras no superaron el límite de 2 en su puntaje final.

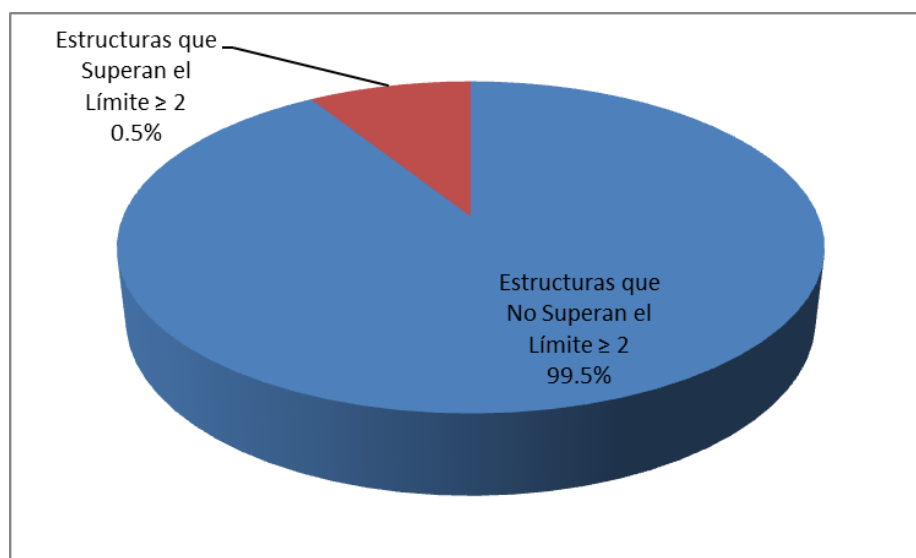


Figura 59: Porcentaje de las estructuras que no superaron el puntaje límite igual a 2.

4.3.12. Extensión de la Revisión

Por diversos motivos una evaluación completa y detallada no puede ser realizada, el motivo principal es la accesibilidad que presentan, a continuación se presenta el grado de la revisión efectuado.

Tabla 30: *Extensión de la revisión realizada a las estructuras*

Extensión de la Revisión		
Exterior	Número de Estructuras	%
Parcial	13 de 255	5
Lado	249 de 255	98
Aérea	255 de 255	100
Interior	Número de Estructuras	%
Ninguno	34 de 255	14
Visible	221 de 255	87
Interna	58 de 255	23

Nota: Se ha realizado casi en la totalidad de las estructuras una revisión exterior, en tanto que en 221 del total se ha realizado una revisión interior visible de las construcciones.

4.3.13. Clasificación de las estructuras debido a la presencia de otras amenazas

En la presente investigación las principales amenazas son los sismos y los lahares producidos por una eventual erupción del volcán Cotopaxi, sin embargo es importante notar que existen otras amenazas que ponen en peligro a las estructuras.

Tabla 31: *Clasificación de las Estructuras debido a la presencia de otras amenazas*

Clasificación de las Estructuras Debido a la Presencia de Otras Amenazas		
Amenaza	Número de Estructuras	%
Golpeteo	95 de 255	37
Caída de Objetos de una Estructura Adjunta	50 de 255	20
Peligro Suelo Tipo F	-	-
Daño del Sistema Estructural	1 de 255	0.5

Nota: el 37% de las estructuras son susceptibles a sufrir golpeteo

4.3.14. Determinando la acción requerida y Evaluación de elementos no estructurales

Al final de la evaluación de las estructuras es importante determinar cuáles necesitan una evaluación más detallada por algún motivo ya sea por tener un puntaje inferior al límite o la existencia de otra amenaza importante que ponga en peligro a la estructura.

Tabla 32: *Determinar Acción requerida*

Determinar Acción Requerida		
Evaluación más detallada	Número de Estructuras	%
Sí, Edificación Diferente a los propuestos	2 de 255	1
Sí, Puntaje Inferior o Igual a 2	254 de 255	99.5
Sí, Otras Amenazas Presentes (Presencia de Lahares)	255 de 255	100
No	-	

Nota: Existe 254 estructuras que necesita una evaluación más detallada por tener un puntaje inferior a 2 y debido a la presencia de lahares todas las estructuras deben ser evaluadas con mayor detenimiento.

También se ha determinado el número de estructuras que necesitan una evaluación de sus elementos no estructurales debido a que si bien no comprometen a la estructura principal los daños que pueden provocar a las personas y construcciones próximas puede ser importante si llegasen a caer.

Tabla 33: *Evaluar Elementos no estructurales*

Evaluar Elementos no estructurales	Número de Estructuras	%
Sí, Peligro no estructurales identificados deben ser evaluados	113 de 255	44
No, peligros no estructurales encontrados pero sus daños pueden ser mitigados, una evaluación detallada no es necesaria	65 de 255	25
No, no se identificaron peligros no estructurales	77 de 255	30
No se sabe	-	-

Nota: se necesita de una evaluación de elementos no estructurales en 133 de 255 estructuras evaluadas.

4.3.15. Mapas de Riesgo de lahares producidos por una posible erupción del volcán Cotopaxi para toda la zona de Selva Alegre en los años 2004, 2014 y 2017

En la siguiente figura se puede observar el recorrido del flujo del lahar que se produciría si el volcán Cotopaxi entre en erupción, este ha cambiado a través de los años debido a que se realizan nuevos estudios que actualizan su área de afectación.

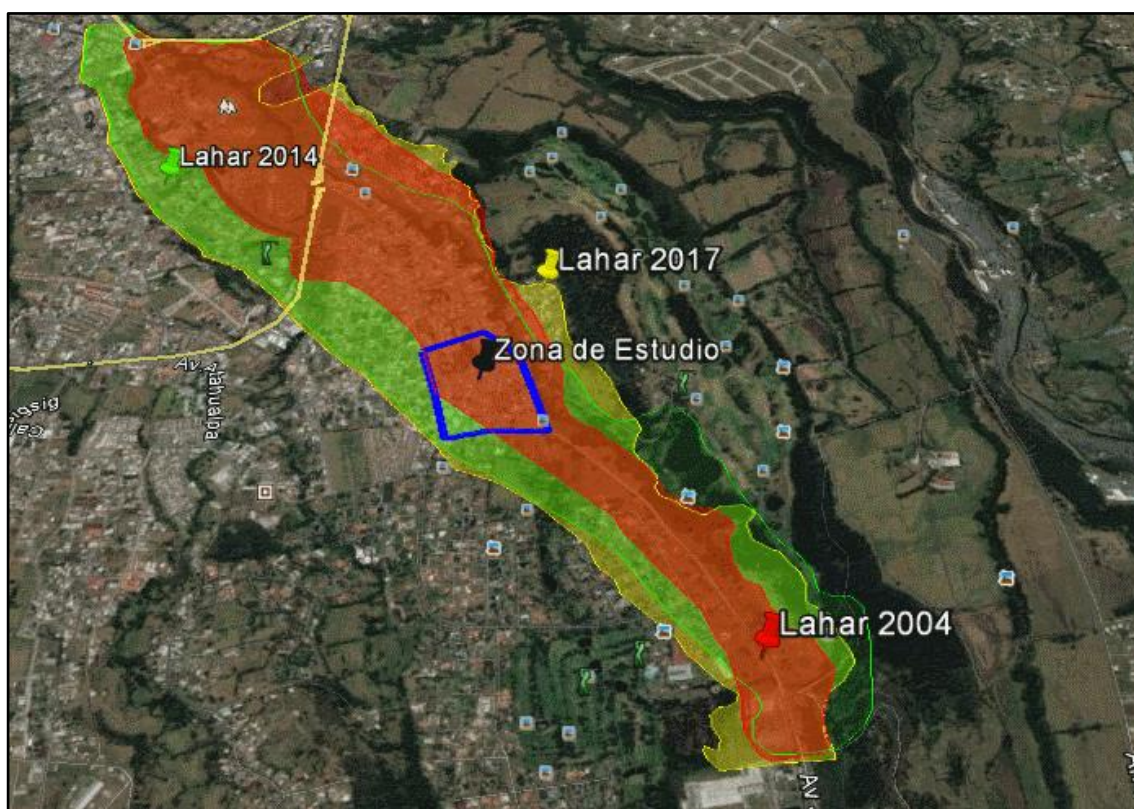


Figura 60: Mapas de Riesgos por lahares para toda la zona de Selva Alegre en los años 2004(Rojo), 2014(verde) y 2017(amarillo).

Como se observa el área de lahar para los años 2014 y 2017 se ha incrementado con respecto al del 2004, en la siguiente tabla se presenta esta actualización, su área y porcentaje de afectación en relación a estos años.

Tabla 34: *Incremento en porcentaje del área de acuerdo a la actualización de los Mapas de Riesgo por lahares en los años 2004, 2014 y 2017*

Año	Área Km ²	Porcentaje de Incremento del Área (%)		
		2004 respecto a 2014	2004 respecto a 2017	2014 respecto a 2017
2004	1.12	29	35	8
2014	1.57			
2017	1.71			

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

1.1 Conclusiones

- Selva Alegre ha sido declarada una zona de riesgo debido a que es susceptible a ser afectada por fenómenos naturales como lo son los sismos y lahares, actualmente se encuentra poblada, es por esta razón que esta investigación toma importancia ya que al realizar una evaluación de las estructuras en este lugar nos ayuda a entender las posibles causas y consecuencias de lo que puede ocurrir en el caso de que suceda alguno de estos eventos.
- Se han evaluado 255 estructuras, y para levantar la información se ha optado por utilizar el método de fichas de evaluación propuestas por el FEMA P-154, se lo ha hecho de esta manera debido a que es una manera fácil y rápida de obtener información y determinar las acciones que se deben seguir una vez terminada la recopilación de datos.
- Realizar levantamientos de información de esta manera también es económico y resulta bastante viable ya que no se necesita de expertos en un área específica en el tema para utilizar las fichas y se puede evaluar un gran número de estructuras en un menor tiempo, y sirve como base para una evaluación más detallada en aquellos casos en los que se necesite.
- Se ha estimado que en el caso de que el volcán Cotopaxi haga erupción este produciría lahares con una altura aproximada 12 metros, y debido a que la zona de Selva Alegre se encuentra en su camino es importante determinar las estructuras que se verían afectadas por este fenómeno, es así que de acuerdo con el mapa de riesgo del año 2004 para esta zona en particular de las 255 estructuras analizadas el 91% de ellas se verían

afectadas quedando totalmente sumergidas por el lahar debido a que ninguna de ellas supera los 12 metros de altura.

- Pero de acuerdo a la actualización del Mapa de Riesgos de lahares del año 2014 con respecto al del año 2004, se puede observar que el flujo de lahares abarca un área mayor, afectando aún número mayor de estructuras, para nuestra zona de estudio el 100% de las estructuras se verían afectadas y se encontrarían sumergidas en su totalidad.

- La última actualización del Mapa de Riesgos de los lahares corresponde al año 2017, este muestra una ligera variación con respecto al año 2014, ya que abarca un área mayor, sin embargo para nuestro estudio el número de estructuras afectadas es igual al del año 2014, es decir el 100% de las estructuras se verían afectadas

- Se ha realizado una comparación entre los mapas de riesgo para toda la zona del barrio Selva Alegre de acuerdo a los años en los que se actualizó, se observa que el área de afectación se ha incrementado en un 29% desde el año 2004 al 2014, con la actualización en el año 2017 hubo un incremento del 35% con respecto al año 2004 y un 8% respecto del 2014.

- Según el estudio realizado se encontró que en caso de ocurrir un evento sísmico las estructuras se verían mucho más afectadas que de producirse un lahar debido que a pesar de que el 100% de las estructuras estarían bajo el lahar, muchas de ellas quedarían en pie, además de que existen alertas que ayudan a la evacuación de las personas en esta zona, al contrario que pasarían si se produjera un sismo ya que es un evento impredecible en tiempo y magnitud y no existen planes de contingencia para mitigar su efecto.

- En muchos casos en el sector de la construcción no existen los controles necesarios para realizar una obra civil, existen casos en que ni siquiera existen planos o

permisos que permitan su realización, esto tiene como consecuencia que estas estructuras sean más vulnerables a sufrir y ocasionar daños. Pese a que existen códigos y normas de construcción muchas veces estos son ignorados y se construyen viviendas, edificios en base a la experiencia de un albañil o un maestro mayor y no en diseños de un profesional, ahora bien a partir del año 2001 hubo una reforma al Código Ecuatoriano de la Construcción en cuanto a diseño sismo resistente se refiere y es por esto que se ha puesto énfasis en determinar aquellas estructuras que fueron elaboradas a partir de este año y se observó que existe un 29% de estructuras construidas bajo este criterio, sin embargo se ha asumido que todas estas construcciones se han hecho con normas y códigos, cuando en la realidad esto no es así ya que se necesita de otros documentos como el catastro, planos arquitectónicos, estructurales, permisos que constaten que se ha construido de una manera responsable y que al no presentar esta documentación no se puede determinar si estas estructuras cumplen con los requerimientos necesarios para su realización. En contraposición se encontraron 182 estructuras que corresponden al 71% restante que fueron construidas antes del año 2001 y que a pesar de que se pudo haber construido bajo una normativa lo más probable es que se las hayan hecho de manera informal, esto es importante ya que durante un sismo aquellas construcciones que se hayan diseñado adecuadamente tienen un mejor desempeño causando un menor daño que aquellas estructuras construida sin ninguna normativa.

- Existen casos en que las personas deciden construir pisos adicionales por distintos motivos, esto representa un grave problema, entre ellos es que se añade un peso extra a la estructura principal, un peso que puede no estar contemplado en el diseño original y que durante un sismo la estructura puede llegar a colapsar por este

motivo, otro de los problemas es que el piso adicional carece de un control en su realización agravando aún más el problema.

En este caso se han encontrado que 22 estructuras presentan adiciones de este tipo, 20 de ellas son de 1 piso y dos de ellas de dos pisos adicionales y que representan el 9% del total de las estructuras, si bien el porcentaje es bajo de las construcciones que presentan este problema es importante tenerlas en cuenta y realizar una evaluación más detallada con el fin de determinar su verdadero comportamiento y desempeño frente a un sismo.

- El barrio Selva Alegre es un lugar en que la mayoría de sus construcciones son del tipo residencial es así que existen 208 estructuras de este tipo que representan el 81%, existen también viviendas que funcionan como pequeños negocios en su mayoría tiendas de abarrotes y que representan el 8%, luego se tienen estructuras solamente comerciales sin embargo siguen siendo pequeños negocios y no grandes fábricas, en la zona de estudio también existen 12 estructuras que representan el 5% del total que deben ser analizadas con mayor detenimiento ya que albergan en su interior a un gran número de estudiantes y que durante una eventualidad estas pueden ser utilizados como albergues, esta clasificación es importante porque nos da una idea de cómo se encuentra conformada la zona y las estructuras a las que se les debe poner más atención en cuanto a una evaluación más detallada como aquellas que son residenciales y escuelas.

- Existen recomendaciones sobre el espacio que separa a las estructuras entre sí, este espacio de separación tiene como objetivo minimizar el problema del golpeteo que puede ocurrir durante un evento sísmico y también el de evitar que elementos no estructurales se desprendan y caigan sobre las construcciones adyacentes, sin embargo existen casos en que estas recomendaciones son ignoradas principalmente porque se trata de ganar espacio de construcción, se ha encontrado que el 37% de las

construcciones tienen un potencial problema de golpeteo y que un 12% presentan una posible caída de elementos, estas construcciones deben ser analizadas con mayor detenimiento.

- Los elementos no estructurales de una edificación suponen un riesgo durante un sismo ya que si no se encuentran integrados correctamente a la estructura principal pueden caer sobre las construcciones adyacentes y también sobre las personas, se ha observado que el 70% de las estructuras analizadas tienen este tipo de elementos, es decir presentan muros sin ningún tipo de anclaje que les impida moverse, revestimiento de ladrillos o cubierta de tejas que como se ha observado cuando han existido movimiento telúricos se han desprendido de los techos de las viviendas, en estos casos es importante entender que este tipo de situaciones se puede mitigar de alguna manera y corregir estos errores en muchos casos de manera sencilla ya que no comprometen a la estructura principal.

- Las construcciones responden a un diseño tanto estructural como arquitectónico sin embargo es este último que en ciertos casos es contrario a las recomendaciones que proveen las normas y códigos de construcción para un buen desempeño sísmico generando irregularidades tanto en planta como en elevación, en el curso de esta investigación se ha encontrado que existen 44 estructuras que corresponden a un 17% del total que presentan algún tipo de irregularidad, 32 de estas estructuras presentan retrocesos excesivos en las esquinas en tanto que 12 construcciones presentan irregularidad geométrica y solo una presenta ejes no paralelos en su configuración estructural, si bien no es un porcentaje elevado de edificaciones que presentan este tipo de problema es importante señalar que este tipo de configuración o irregularidad influenciará de manera negativa el comportamiento de la estructura cuando ocurra un sismo siendo el peor efecto el colapso de la misma.

- Como se había mencionado es importante que para una construcción se lleve a cabo es necesario tener la documentación necesaria como permisos, planos, diseños y todo aquello que avale a la edificación como legal, de no ser así se entiende que la construcción fue realizada de manera informal y que es muy probable que no se haya realizado ningún tipo de control, no obstante existe una documentación que permite ver cuáles edificaciones han sido legalizadas formalmente, este documento es el catastro y pese a que es un indicador de que la edificación cumple los requerimientos necesarios para ser legal existe aún la posibilidad de que se haya realizado de manera informal primero y legalizándola después sin tener que pasar por un control durante su construcción, a pesar de esto se asume que las estructuras que presentan esta documentación tienen los planos en orden y se ha realizado de manera correcta y de acuerdo a esta investigación se ha determinado que existen 223 estructuras que corresponden a un 87% del total que sí presentan la documentación pertinente frente a un 13% que no la tiene, es importante tener en cuenta que esta zona fue declarada en riesgo a partir del año 2015 y que de esta fecha en adelante se negaron los permisos para construir y legalizar las construcciones existentes.

- Los materiales de construcción y el sistema estructural son parte de los elementos más importantes de una estructura en cuanto a su comportamiento durante un sismo, se ha observado que un 80% de las estructuras tiene la típica configuración de pórticos de hormigón armado con muros de mampostería no reforzada, un 19% presenta una configuración de paredes de apoyo de mampostería no reforzada que corresponden a viviendas construidas de adobe o paredes de bloque y como se mencionó anteriormente el 83% del total de las estructuras presenta una configuración regular, pero a pesar de esto este tipo de sistema no es el mejor durante un sismo y se refleja en su puntuación alcanzada durante la presente evaluación ya que el 99.5% de las

estructuras tienen un puntaje inferior al límite marcado como 2, es decir que prácticamente todas las estructuras necesitan de una evaluación mucho más detallada, además cabe recordar que el 100% de estas estructuras son susceptibles a un posible lahar, estas dos razones son suficientes para realizar un análisis más detallado.

- En la zona no existe peligros geológicos que puedan afectar a las estructuras ya que el potencial de licuefacción no es muy alto por el tipo de suelo, tampoco existe deslizamientos ni rupturas superficiales.

- A pesar de que no existen peligros geológicos el perfil del suelo ha sido clasificado tipo E de acuerdo con el ensayo S.P.T y la NEC SE-DS 2015, su importancia radica que sobre este se cimientan las casas y edificios y son un componente importante en cuanto a su desempeño frente a un sismo, al obtener este perfil se puede suponer que podría tratarse de un relleno producido por los anteriores lahares.

1.2 Recomendaciones

- Realizar este tipo de evaluación supone una gran ventaja en cuanto al tiempo y al volumen de las estructuras que se pueden analizar ya que es una primera aproximación para precisar si se necesitan más estudios para determinar su riesgo. Pese a esto existen ciertos puntos de las fichas que resultan no ser tan ventajosos, para empezar depende mucho del criterio del evaluador y si bien no se necesita de un experto en un área específica para su utilización si es absolutamente necesario tener conocimientos sobre el tema por lo que es recomendable que la evaluación sea realizada por un ingeniero civil o un estudiante egresado.

- La obtención de información previa a la evaluación en campo es de vital importancia ya que permite tener una idea general de lo que se va a encontrar, es por

esto que se debe recopilar la mayor cantidad ya que esto no solo nos ahorraría tiempo sino también nos ayudaría a entender mejor la situación de lo que se está evaluando. Además tener planos, catastros, estudios previos, entre otros ayuda a tener una mejor conceptualización de las estructuras lo que permitirá reducir la subjetividad por parte del evaluador.

- En la presente investigación se ha realizado perforaciones en el suelo para determinar su tipo y resistencia, sin embargo se sugiere realizar más perforaciones ya que existen casos en que los estratos del suelo cambian dependiendo del lugar, y para tener una mejor comprensión y reducir la incertidumbre es mejor tener la mayor cantidad de información posible.

- Es necesaria realizar una evaluación del tipo de cimentación y su profundidad ya que de acuerdo con los resultados obtenidos se tiene un perfil de suelo E que corresponde a un suelo suave y que influye de manera directa en el comportamiento de la estructura durante un sismo.

- Al ser esta una evaluación visual depende del evaluador y su criterio la obtención de la información en campo, y existe la posibilidad de que no se pueda realizar una evaluación a profundidad por distintos motivos tales como la imposibilidad de tener acceso a la construcción, sin embargo es recomendable tomar todas las acciones necesarias para poder realizarlo porque de esta manera se deja de asumir ciertos datos y se tiene una información más valedera.

- Existe casos en que la información no siempre es verdadera o no se encuentra completa por lo que se ha recurrido a una evaluación probabilística que se adapta de mejor manera a este tipo de situación.

- Una vez obtenido los datos y la información de la evaluación el siguiente paso es procesar la información, es recomendable tener una hoja de cálculo que permita registra

dicha información y automatizar el proceso ya que si se tiene un gran volumen de estructuras evaluadas esto nos permitirá no solo ahorrar tiempo sino también tener resultados confiables y de necesitar que se realice alguna modificación se lo pueda hacer sin mayor inconveniente.

- El barrio Selva Alegre es susceptible a sufrir sismos, se sugiere realizar una evaluación en cuanto a su intensidad, magnitud y localización porque de esto dependerá que las estructuras colapsen o no, y lo que es peor aún que existan pérdidas humanas.
- Se ha determinado que prácticamente todas las estructuras en la presente evaluación necesitan de estudios más profundos, es recomendable realizarlos para poder tomar acciones como mejorar los diseños, reforzar el sistema estructural o mitigar los posibles daños que puedan ocasionar si ocurriese uno de estos dos fenómenos naturales.
- Se recomienda realizar una ampliación del área de estudio en relación a la actualización del Mapa de Riesgos del año 2017 para determinar el número y grado de afectación que presentarían las estructuras en caso de ocurrir un lahar.

Bibliografía

- AGN. (5 de Marzo de 2010). *El Mercurio - Diario Independiente de la Mañana*.
Obtenido de <http://www.elmercurio.com.ec/233258-ecuador-es-vulnerable-a-los-terremotos/#.V45XJ6Ie2J8>
- Andrade, D. (2005). Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. *IIRD*, 23-43.
- Barbat, A., Mena, U., & Yépez, F. (1998). Evaluación probabilista del riesgo sísmico en zonas urbanas. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 14(2), 247-268.
- Bertero, V. (2004). *Desarrollo histórico del comienzo y evolución de la ingeniería sísmica y científica basada en el desempeño y discusión de los desafíos en su aplicación en la práctica*. Buenos Aires: ANI - Academia Nacional de Ingeniería.
- Caballero, C. (2013). *Sismos y terremotos*. Instituto de Geofísica: México.
- Cáceres, B., Ramírez, J., & Francou, B. (2004). *Determinación del Volúmen del casquete de hielo del Volcán Cotopaxi*. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Carmona, J. S. (2002). *Efectos de sismos lejanos de gran magnitud sobre los edificios de gran altura de la ciudad de Buenos Aires: su comparación con la norma inpres-cirsoc 103*. Buenos Aires: ANI - Academia Nacional de Ingeniería.
- Colina, J., & Ramirez, H. (2006). *Características de los sismos y sus efectos en las construcciones*. Toluca: Red Ciencia Ergo Sum.
- El Comercio. (12 de agosto de 2014). Temblor de 5.1 sacudió a Quito. *El Comercio*, pág. 1.
- El Comercio. (9 de agosto de 2016). El temblor de 4.7 grados de este 2016 en Quito se relaciona con el sismo del 2014. *El Comercio*, pág. 1. Obtenido de

<http://www.elcomercio.com/tendencias/factores-influencia-magnitud-sismos-terremotos.html>

Espíndola, J., & Jiménez, Z. (1990). ¿Cuál es la diferencia entre magnitud momento y magnitud Richter? Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

FEMA. (Enero de 2015). *Rapid Visual Screening Of Buildings For Potential Seismic Hazards: A Handbook*. Obtenido de FEMA P-154:

https://www.fema.gov/media-library-data/1426210695633-d9a280e72b32872161efab26a602283b/FEMAP-154_508.pdf

Fernández, C., & Álvarez, J. (2009). *Actividad sísmica, zonación sismotectónica y riesgo sísmico en el no de la Península Ibérica*. Oviedo: Ediuno - Universidad de Oviedo.

Google Earth. (2 de diciembre de 2016). *Mapas*. Obtenido de Mapas:

<https://earth.google.es/>

Gutenberg, B., & Richter, C. (1956). *Seismicity of the earth and associated phenomena*. Princeton Univ. Press: Estados Unidos: Nueva Jersey.

Hall, M., Mothes, P., & Hidalgo, S. (2005). *Map of Volcanic history of Cotopaxi Volcano – Ecuador*. Quito: IGEPN.

Hanks, T., & Kanamori, H. (1979). Moment magnitude scale. *Geophys. Res*, 84, 2348-2350.

Hodgsoii, J. (1964). *Rarthqnakes and Earfh Sfrncture*. Nueva Jersey: Prentice Hall.

IGEPN. (2 de septiembre de 2015). *Red de observatrios vulcanológicos* . Obtenido de Instituto de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional:

<http://www.igepn.edu.ec/red-de-observatorios-vulcanologicos-rovig>

IGEPN. (23 de agosto de 2015). *Sismo*. Obtenido de Instituto de Geofísica:

<http://www.igepn.edu.ec/portal/ultimo-sismo/informe-ultimo-sismo.html>

- IGEPN. (2016). *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Informe Sísmico Especial N. 8 - 2016 :
<http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1312-informe-sismico-especial-n-8-2016>
- IGEPN. (23 de diciembre de 2016). *Volcanes*. Obtenido de Instituto de Geofísica-Escuela Politécnica Nacional: <http://www.igepn.edu.ec/cotopaxi>
- La Hora. (17 de marzo de 2010). Conozca las causas de riesgo sísmico del país. *La Hora*, pág. 1.
- La Hora. (4 de Mayo de 2016). *Daños del sismo*. Obtenido de La Hora:
<http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101941055#.WFmi2X0e2J9>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (10 de Enero de 2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC*. Obtenido de www.normaconstruccion.ec:
[http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_RE_\(Riesgo_sismico\).pdf](http://www.normaconstruccion.ec/capitulos_nec_2015/NEC_SE_RE_(Riesgo_sismico).pdf)
- Morais, A. (4 de abril de 2014). *Las escalas logarítmicas y la escala Richter*. Obtenido de ehuesfera: <http://www.ehu.eus/ehusfera/epdzabaldu/2014/04/04/las-escalas-logaritmicas-y-la-escala-richter/>
- Moreno, V. (2013). *Riesgo sísmico*. Colombia: Universidad de Cartagena.
- Mothes, P., Hall, M., & R, J. (1998). The enormous Chillos Valley Lahar: an ash-flow-generated debris flow from Cotopaxi volcano. *Bulletin of Volcanology*, 59(4), 233-244.
- Nava, A. (2002). *Terremotos*. México D.F: FCE - Fondo de Cultura Económica.
- NEC. (Enero de 2015). *Hábitat y Vivienda*. Obtenido de http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/01/Preguntas-y-Respuestas_NEC.pdf

Newhall, C., & Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI) an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical*.

Notimérica. (11 de Julio de 2016). *Notimérica*. Obtenido de <http://www.notimerica.com/sociedad/noticia-producen-tantos-terremotos-ecuador-20160417161113.html>

Robert, J., D'Ercole, R., Pigeon, P., & Serrano, T. (2009). Complejidad, incertidumbre y vulnerabilidad: el riesgo asociado al volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos (Quito-Ecuador). *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 38(3), 709-733.

Rosales, F. (2012). *El modelamiento del movimiento de las placas tectónicas*. Colombia: Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Rosenberg, M. (5 de junio de 2004). *Ring of Fire*. Obtenido de Geography: <http://geography.about.com/cs/earthquakes/a/ringoffire.htm>

Sauter, F. (1989). *Fundamentos de Ingeniería Sísmica*. Bogotá: Editorial Tecnológica Costa rica.

Secretaria de Gestión de Riesgos. (2015). *Plan de Contingencia de contingencia ante una posible erupción del Volcán Cotopaxi*. Songoli: Secretaria de Gestión de Riesgos.

Secretaria de Gestión de Riesgos. (2017). *Plan de Contingencia de contingencia ante una posible erupción del Volcán Cotopaxi*. Songoli: Secretaria de Gestión de Riesgos.

UCR. (2 de junio de 2014). *¿Cuál es la diferencia entre magnitud e intensidad?* Obtenido de RSN-UCR-ICE: <http://rsn.ucr.ac.cr/index.php/faq/sismologia/2504-cual-es-la-diferencia-entre-magnitud-e-intensidad>

UNESCO. (1980). *UNESCO*. Terremotos - Evaluación y Mitigación de su Peligrosidad.

Obtenido de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001342/134251so.pdf>

Universidad de Alicante. (2015). *Peligrosidad Sísmica*. España: Universidad de Alicante.

Universidad Nacional Autónoma de México. (1994). Obtenido de Instituto de Geofísica:

<http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf>

Varnez, D. (1984). Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice.

Natural Hazards(3), 61.

Yepes, H. (15 de agosto de 2014). Breve reseña de los sismos provenientes de la falla geológica de Quito que han afectado a la capital. *El Comercio*, pág. 1.

Zibell, M. (23 de Abril de 2016). El secreto de los edificios que no se cayeron durante el

terremoto de Ecuador. *BBC MUNDO*. Obtenido de:

http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160422_ecuador_terremoto_problemas_construcciones_arquitectura_ab

Anexos